

QUALITY VARIABLES OF “HASS” AVOCADO STORED IN MODIFIED ATMOSPHERE PACKAGING

Yessica Vázquez-López¹, Rosalina Iribe-Salazar², Marco Carrasco-Escalante²,
Soila Gaxiola-Camacho¹, José Caro-Corrales^{2*}

¹ Universidad Autónoma de Sinaloa. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Posgrado en Ciencias Agropecuarias. Boulevard San Ángel No. 3886, Fraccionamiento San Benito, Culiacán, Sinaloa, México. C. P. 80260.

² Universidad Autónoma de Sinaloa. Facultad de Ciencias Químico Biológicas. Posgrado en Ciencia y Tecnología de Alimentos. Calzada de las Américas Norte No. 2771, Burócrata, Culiacán, Sinaloa, México. C. P. 80013.

* Corresponding author: josecaro@uas.edu.mx

ABSTRACT

Modified atmosphere packaging (MAP) and refrigeration of fruits and vegetables are used to extend their shelf life. The hypothesis of this study is that quality attributes of avocados stored in MAP at 8 °C can be preserved for a longer period, compared to room temperature (RT) or refrigeration (REF) storage; however, during post-storage ripening (PSR), these quality variables approach those of refrigeration or room temperature in a brief time. The objective of this research was to evaluate quality variables in avocado (*Persea americana* Mill.) cv. “Hass” during storage in MAP at 8 °C and PSR at 21 °C and contrast them to those obtained during storage at RT or REF. Fruits at physiological maturity and MAP bags were used. A completely randomized design was used; factors were type of storage (RT 21 °C, REF 8 °C, and MAP 8 °C), storage time (0, 8, 16, 24, and 32 d), and PSR time at 21 °C (0, 2, 4, and 6 d). Quality variables were firmness (penetration force), total colour difference (ΔE) in exocarp and mesocarp (colorimeter), pH (potentiometry), and total soluble solids (TSS, refractometry). Avocados stored in MAP retained firmness, which was higher compared to REF and RT during the storage period. Firmness retention for avocados at RT, REF, and MAP, at day 16, was 5.7, 32.6, and 87.2 %, and at day 32, it was 0 (no reading), 9.5, and 78.2 %, respectively. Total colour difference in exocarp and mesocarp, pH, and TSS ranged from 3.8 to 25.6, 3.2 to 20.3, 6.7 to 7.1, and 5.3 to 7.7 °Brix, respectively. During the storage period, fruits stored at MAP showed a firmness, ΔE of exocarp and mesocarp similar to those of fresh fruit. Type of storage showed no effect on pH and TSS, during the storage period. Modified atmosphere at 8 °C allows to extend the shelf life of “Hass” avocado for a period twice as long as that at room temperature, based on the changes in firmness and colour are reduced, properties that are important quality benchmarks.

Keywords: *Persea americana* Mill., avocado, modified atmosphere, postharvest, refrigeration.

INTRODUCTION

Avocado (*Persea americana* Mill.) is a very important fruit for the economy of México (Arana-Coronado *et al.*, 2012). In 2019, the world production was estimated at 7.3 million Mg; México was the main producer, generated 2.3 million Mg and exported 1.2

Citation: Vázquez-López Y, Iribe-Salazar R, Carrasco-Escalante M, Gaxiola-Camacho S, Caro-Corrales J. 2022. Quality variables of “Hass” avocado stored in modified atmosphere packaging. *Agrociencia*. 56(4): 805-829. <https://doi.org/10.47163/agrociencia.v56i4.2460>

Editor in Chief:
Dr. Fernando C. Gómez Merino

Received: October 23, 2021.

Approved: May 18, 2022.

Published in Agrociencia:
June 24, 2022.

This work is licensed
under a Creative Commons
Attribution-Non- Commercial
4.0 International license.



million Mg (FAO, 2019). In México, Michoacán is the state that generates the highest production of this fruit; in 2020, it harvested 1.7 million Mg (SIAP, 2020).

Postharvest handling is very important to preserve the quality of fruits and vegetables (Espinosa-Moreno *et al.*, 2018); improper management causes economic losses. The fruits at harvest maturity continue with the ripening process after harvesting. Ripening is the process that starts from the last stages of growth and development of the fruit until the first stages of senescence. Therefore, the ripening process is an important phase to preserve quality attributes. Some of the modifications associated with the ripening process are changes in colour, firmness, sugar content, production of volatile compounds, respiratory metabolism, and ethylene production (Pech *et al.*, 2018).

Refrigeration is one of the most widely used technologies to preserve avocado fruit. Commercially, avocado is stored between 5 and 6 °C; if storage is performed at a lower temperature, it can cause chilling injury (Bill *et al.*, 2014).

Modified atmosphere packaging for fruits and vegetables is used to extend their shelf life by reducing the respiration rate, and consequently, its degradation rate; this reduction is achieved by modifying the atmosphere inside the package (Vázquez-López *et al.*, 2020). The positive effects of the atmosphere can be verified mainly by measuring the firmness and colour of the fruits which are properties that depend on the conversion of carbohydrates from cell walls into sugars and on the degradation of chlorophyll in the peel. The modified atmosphere can be created by injection into the package with a gas mixture of desired composition (active atmosphere) or from product respiration (passive atmosphere).

The active modified atmosphere is created with a continuous flow of the gaseous mixture to replace the air. The passive atmosphere is achieved with the O₂ consumption and CO₂ production, generated by the fruit inside the package. In both cases, the permeability of the packing material is important to allow the diffusion of the gases between the package and the outside, until reaching the stable modified atmosphere. Russo *et al.* (2014) reported that a modified atmosphere of 7.0 % CO₂ and 4.0 % O₂ at 10 °C was the most effective method of storage to minimize weight loss and CO₂ production in “Fuerte” avocado.

The avocado fruits are packed mainly in cardboard boxes during storage. Nowadays, bags for modified atmosphere are offered in the market to extend the shelf life of fruits and vegetables during storage. However, these packages are not always used; sometimes, they are used in generic form for diverse fruits, and there are few packages for a specific fruit; these, in some cases, do not meet the requirements to generate the optimum atmosphere, maximize preservation, and maintain the appropriate quality. Modified atmosphere packaging (MAP) storage slows down metabolic processes; however, when the fruit is removed from the bag, these processes increase, and after a few days the quality variables are closer to those of the control fruit (Nakhasi *et al.*, 1991). The hypothesis of this study is that avocados stored in MAP at 8 °C have better quality variables than those stored in refrigeration (REF) or room temperature (RT). In addition, once avocados are kept out of MAP, at 21 °C, during post-storage ripening, these quality variables approach those of refrigeration or room temperature

in a short period. The objective of this research was to evaluate quality variables in “Hass” avocado during storage in AG Fresh® bags for modified atmosphere at 8 ± 1 °C and post-storage ripening at 21 °C, contrasting them with those obtained during storage at refrigeration or room temperature.

MATERIALS AND METHODS

“Hass” avocados (*Persea americana* Mill.) were harvested 35 weeks after flowering, at physiological maturity stage, were selected based on size (220.4 ± 11.8 g) and colour ($L^* = 36.5 \pm 2.1$, $a^* = -13.2 \pm 2.1$, and $b^* = 18.0 \pm 3.1$). Avocados came from Tacámbaro, Michoacán, México. Fruits were sanitized with a 1 % sodium hypochlorite solution for 20 min (Russo *et al.*, 2014). They were stored in three lots: (1) room temperature at 21 ± 1 °C (RT-21), (2) refrigeration at 8 ± 1 °C (REF-8), and (3) modified atmosphere at 8 ± 1 °C (MAP-8) in bags (AG Fresh® Liner Box) made from a commercial plastic film (Low Density Polyethylene/Ethylene vinyl alcohol/Low Density Polyethylene) with a thickness of 0.20 mm (8 mil) and dimensions of 73.7×66 cm. Initial concentrations of O₂ and CO₂ were those of normal atmosphere, 21 and 0.03 % mol, respectively. The bags were closed with plastic ties and fruit respiration generated a passive modified atmosphere.

Statistical Analysis

A completely randomized design was used. The response variables were firmness, total colour difference in exocarp and mesocarp, pH, and total soluble solids. Three factors were selected: (1) type of storage (room temperature at 21 °C, refrigeration at 8 °C, and modified atmosphere at 8 °C), (2) storage time (0, 8, 16, 24, and 32 d) and (3) post-storage ripening time at 21 °C (0, 2, 4, and 6 d). In each treatment, the experimental unit consisted of three fruits. Six replicates were performed. This throws a total of 1080 avocados. For avocados from MAP at 8 °C, after each storage time, 72 fruits were removed from the bags, kept at 21 °C in normal atmosphere (air), and 18 of them (3 fruits per unit, 6 replicates) evaluated during each post-storage ripening time (0 to 6 days). Differences were evaluated using Fisher’s means difference test at $p \leq 0.05$.

Physical analysis

Firmness

Firmness was evaluated with a digital force gauge (Chatillon, DFE 100, Scientific Co., Chicago Il., USA) with a spherical tip 11 mm in diameter, which deformed the pulp up to 5 mm deep at a rate of 50 mm min^{-1} . Six replications were taken with three readings in each experimental unit. Firmness was expressed as the maximum compression force (N).

Total colour difference in exocarp and mesocarp ($\Delta E_{\text{exocarp}}$ and $\Delta E_{\text{mesocarp}}$)

Colour variables in exocarp and mesocarp were determined with a portable colorimeter (Minolta CR-210, Osaka, Japan) according to the methodology reported by Barriada-

Bernal *et al.* (2018). Six replications were taken with three readings in each experimental unit. The total colour difference was calculated with the following equation:

$$\Delta E = \left[(a^* - a_i^*)^2 + (b^* - b_i^*)^2 + (L^* - L_i^*)^2 \right]^{1/2}$$

L_i^* , a_i^* , and b_i^* variables before treatments were taken as reference.

Chemical analysis

pH

The pH was evaluated according to method 981.12 of AOAC (AOAC, 2012). A solution with 10 g of pulp and 20 mL of neutral water (pH 7) was prepared and mixed for 30 s with a homogenizer (Ultra-Turrax IKA, T18 basic S1, Germany). Subsequently, the filtered solution was placed into a 100 mL graduated flask and made up to the mark with neutral water. An aliquot of 20 mL was taken, and the pH was determined with a potentiometer (520-A, Orion Research Inc., Boston, USA). Six replications were taken with three reading in each experimental unit.

Total soluble solids (TSS)

The total soluble solids were evaluated according to Terán-Erazo *et al.* (2019). A refractometer (300001, Sper Scientific) was used and drops of the pulp extract were placed in the prism. The results were expressed in °Brix. Six replications were taken with three reading in each experimental unit.

RESULTS AND DISCUSSION

Physical analysis

Firmness

The initial firmness of avocados was 96.6, 86.5, and 93.7 N for RT-21, REF-8, and MAP-8, respectively (Figure 1). Comparing among types of storage ($p > 0.05$), during the storage period, avocados stored in MAP-8 retained firmness which was higher ($p \leq 0.05$) compared to RT-21 and REF-8. At 16 d of storage, firmness retention of avocados at RT-21, REF-8, and MAP-8 was 5.7, 32.6, and 87.2 %, respectively. Firmness for fruits at RT-21 was only possible to be measured up to day 16, where the lowest firmness retention was obtained; after 18 d, fruits were in poor condition (spoiled). This condition made the experimental design became unbalanced. Firmness evaluation showed that avocados in MAP-8 delayed softening, since at 32 d of storage, firmness retention was 78.2 %, while fruits at REF-8 retained only 9.5 % of initial firmness. The combination of low temperature and modified atmosphere packaging (MAP-8) exerted a higher positive effect on firmness retention compared to REF-8. After each storage time, avocados from MAP-8 were removed from the bags, kept at 21 °C, and continued the post-storage ripening (PSR) process in air at normal atmosphere (MAP-21PSR). The equilibrium atmosphere generated in MAP-8 during storage avoided drastically decreasing firmness at the first two days of post-storage ripening at 21 °C in normal atmosphere (air), MAP-21PSR (10, 18, 26, and 34 days) with 60.3 %

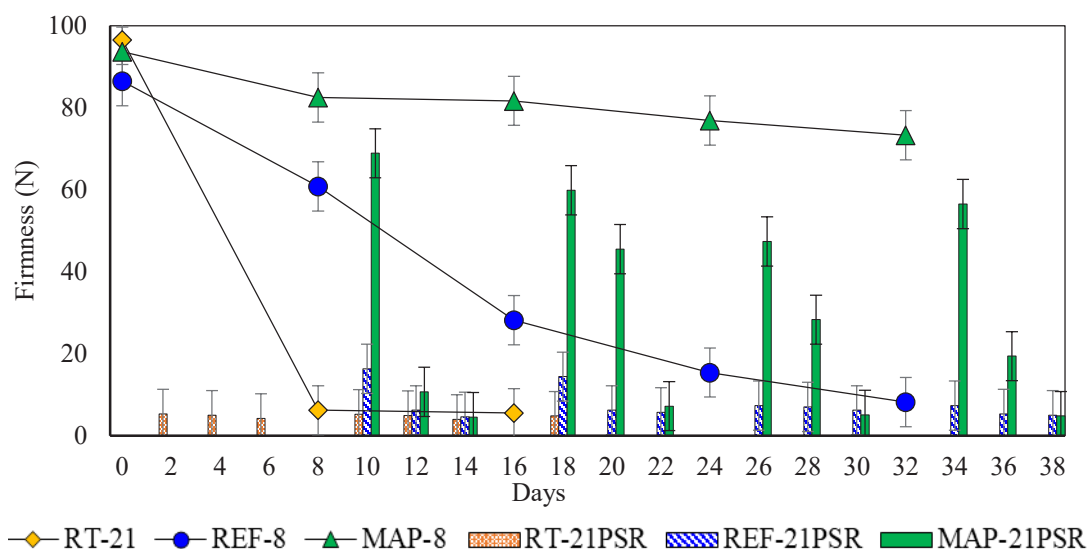


Figure 1. Firmness of “Hass” avocado during storage at room temperature at 21 °C (RT-21), refrigeration at 8 °C (REF-8), and modified atmosphere packaging at 8 °C (MAP-8) for 8, 16, 24, and 32 days and post-storage ripening (PSR) at 21 °C for 2, 4, and 6 days. Vertical bars represent LSD = 12 N (Fisher, $p \leq 0.05$).

of firmness retention at day 34; while for REF-21PSR it was 8.4 %. At six days of post-storage ripening (14, 22, 30, and 38 days), firmness of fruit from MAP-21PSR reached that of REF-21PSR or RT-21PSR.

Firmness is the most representative variable of the ripening process of “Hass” avocado and is considered an important criterion to evaluate the postharvest life. In general, these results coincide with those reported by Espinoza-Cruz *et al.* (2014), who concluded that the use of microperforated bags for “Hass” avocado allows to maintain a better firmness in relation to fruits stored in normal atmosphere. Valle-Guadarrama *et al.* (2013) evaluated the effect of changing the O_2 concentration on “Hass” avocado fruits stored in normal atmosphere (21 mol % O_2) and controlled atmosphere (5.3 mol % O_2) at 20 °C. Those researchers found a firmness retention of 7 % in fruits stored at normal atmosphere after 11 days of storage and 30 % for fruits at controlled atmosphere. In comparison, in the present study, at day 16 of storage firmness retention was 87.2 % for fruits in MAP at 8 °C (MAP-8). The decrease of firmness can be attributed to the activity of polygalacturonase (Magallanes-López *et al.*, 2020) and pectin methylesterase (Defilippi *et al.*, 2018). Pectin methylesterase removes methoxyl groups from the pectic constituents of the cell wall, which are subsequently depolymerized by polygalacturonase, reducing cell wall turgidity, structure, and composition (Uscanga-Sosa *et al.*, 2019).

On the other hand, temperature influences the rate of metabolic reactions; as temperature increases, enzymatic processes are accelerated, until senescence is reached. The better firmness retention in modified atmosphere is mainly due to the O_2 and CO_2 concentrations generated inside the package and to low temperature.

A reduction in oxygen concentration causes a decrease in respiration rates, slowing down ripening.

Total colour difference in exocarp ($\Delta E_{\text{exocarp}}$)

Total colour difference in peel of avocado ranged from 3.8 to 25.6. For fruit in MAP-8 ranged from 3.8 to 5.6 (Figure 2). Avocados in MAP-8 retained ($p > 0.05$) the proper colour for a longer period (32 d) compared to those at RT-21 (24 days), showing the positive effect of low temperature and modified atmosphere packaging during storage. Change in exocarp colour at days eight and 16 at RT-21 was higher ($p < 0.05$) than that at REF-8 or MAP-8; while these last two storage methods did not cause a difference ($p > 0.05$). External colour of avocado stored at MAP-8 did not change ($p > 0.05$) during the storage period; this indicates they had a colour more similar to that at day 0, compared to the other two types of storage. Additionally, the a^* colour coordinate, during storage at RT-21 from the first day to day 16, increased from -13.0 to -2.0 , while L^* and b^* colour variables decreased from 36.2 to 26.7 and 17.7 to 3.0, respectively. This implies that avocados at RT-21 showed a change in peel colour from dark green to dark gray.

The post-storage ripening process of avocado from MAP-8 was accomplished in normal atmosphere at 21 °C (MAP-21PSR). As expected, total colour difference showed an increase for the three storage methods during ripening after storage. In addition, the effect of type of storage on colour attributes in the fruit is appreciable, since fruit from MAP showed smaller total colour differences (MAP-21PSR). At two days of ripening

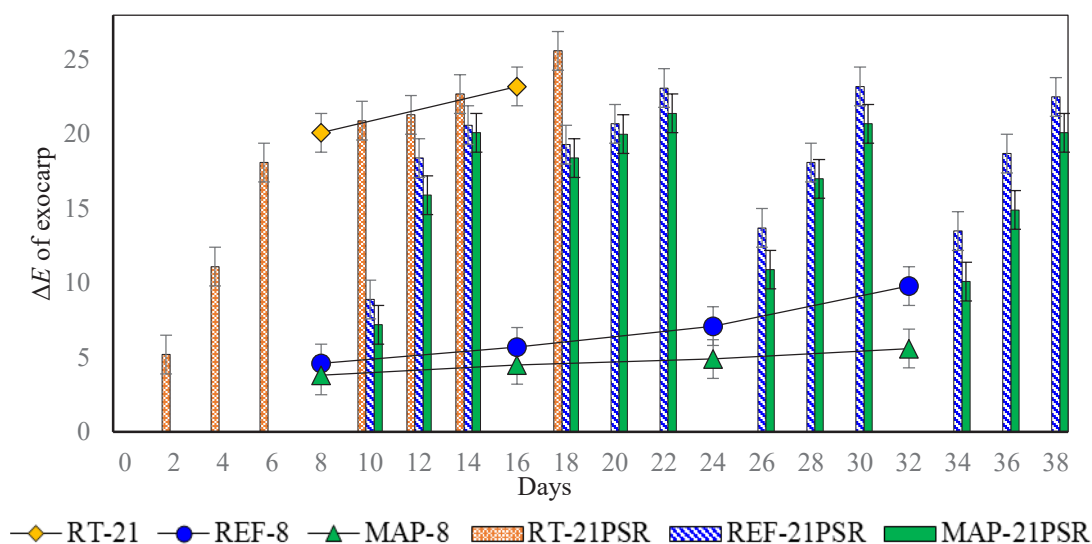


Figure 2. Total colour difference in exocarp of “Hass” avocado during storage at room temperature at 21 °C (RT-21), refrigeration at 8 °C (REF-8), and modified atmosphere packaging at 8 °C (MAP-8) for 8, 16, 24, and 32 days and post-storage ripening (PSR) at 21 °C for 2, 4, and 6 days. Vertical bars represent LSD = 2.6 (Fisher, $p \leq 0.05$).

in normal atmosphere at 21 °C (MAP-21PSR) plus eight days in MAP-8 (day 10), fruit maintained 34 % of total colour difference, respect to those at RT-21PSR. On the other hand, from day 10 to day 14, and day 18, fruit at RT-21PSR showed an advanced degree of ripening (black/dark), while those from REF-21PSR or MAP-21PSR still had dark green areas. At the final stage of analysis, specifically during days 34 and 36, the storage method had an effect on fruit external colour. Fruits from MAP-21PSR at day 36 showed the smallest changes in exocarp colour, compared to fruit from REF-21PSR. However, after 6 d of post-storage ripening (day 38), fruit external colour reached that of REF-21PSR or RT-21PSR.

Skin blackening is one of the features directly related to the degree of ripening in "Hass" avocado. The obtained evolution of colour coordinates agrees with the behaviour reported by Marquez *et al.* (2014) [a^* (-6 to 2), b^* (14 to 2), and L^* (36 to 25)] when studying the peel colour change during the postharvest period at 20 °C in "Hass" avocado. Tropical fruits stored in normal atmosphere (air) lose their green colour faster than those stored in MAP; this effect is attributed to a desynchronization of the ripening process. The variation of total colour difference during ripening of fruit is visually associated with a decrease in the bright green to dark/black colour, a distinctive colour of a ripened avocado. The presence of chlorophyllide and phytol, due to the degradation of chlorophyll *b* by enzymatic action, are probably responsible for colour variations; as well as, by the degradation of carotenoids producing an apparent increase in anthocyanins.

Total colour difference in mesocarp ($\Delta E_{\text{mesocarp}}$)

Total colour difference in pulp ranged from 3.2 to 20.3. For fruit stored in MAP-8, it ranged from 4.0 to 4.9 (Figure 3). There was no difference ($p > 0.05$) in ΔE for RT-21, REF-8, and MAP-8, when compared at day eight. Moreover, the internal colour of fruits stored in REF-8 or MAP-8 did not show difference ($p > 0.05$) for any level of storage time, ranging from 4.0 to 6.2. In addition, during storage the only condition that exerted an effect was RT-21 at day 16, showing a ΔE of 16.6. The latter can be attributed to the excessive ripening of the fruits, since flesh of avocados turned to brown colourations, mainly affecting the behaviour of L^* and b^* variables. The b^* variable for RT-21 was 30.5 when evaluated at day 16, while at day 32, REF-8 and MAP-8 showed similar b^* variables (35.4 and 38.2, respectively), corresponding to a light yellow-green colour ($L^* = 80$ and $a^* = -12$). On the other hand, the L^* variable showed an analogous behaviour, since avocados at day 16 for RT-21 had the lowest luminosity (66.8), while L^* at REF-8 and MAP-8 at day 32 remained around 80. The post-storage ripening process of avocados from MAP-8 was carried out at 21 °C in air (MAP-21PSR). In concordance to the ΔE behaviour of exocarp, this variable showed an increase for the three storage methods when evaluated in the mesocarp of the fruits. The highest colour variation was obtained at day 18 for the RT-21PSR condition (20.3). In contrast, avocados stored at MAP-21PSR for 32 days at 8 °C plus two and four days at 21 °C in air (days 34 and 36) had a closer colour (ΔE of 5.2 and 8.0) to the fresh fruits,

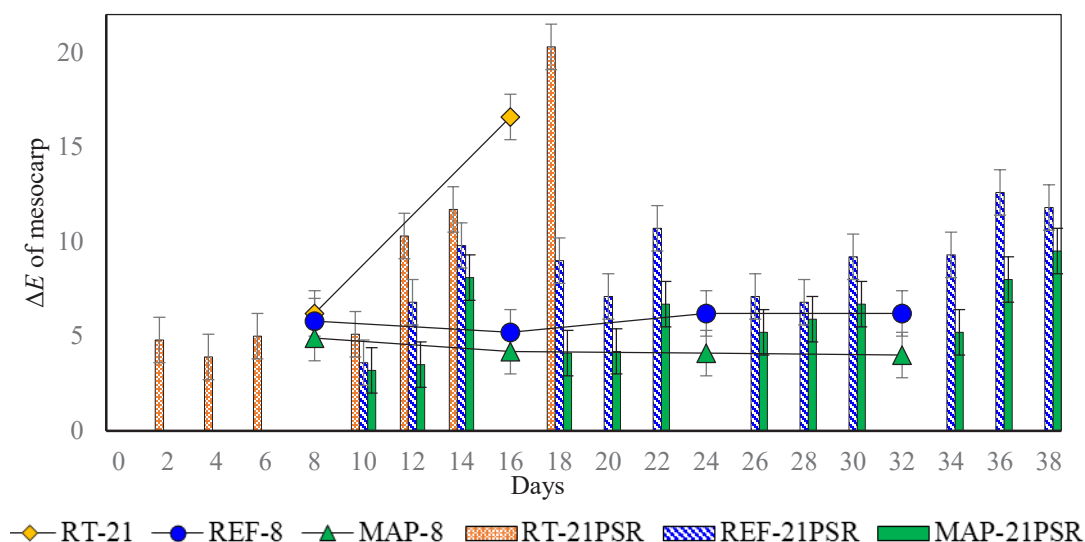


Figure 3. Total colour difference in mesocarp of “Hass” avocado during storage at room temperature at 21 °C (RT-21), refrigeration at 8 °C (REF-8), and modified atmosphere packaging at 8 °C (MAP-8) for 8, 16, 24, and 32 days and post-storage ripening (PSR) at 21 °C for 2, 4, and 6 days. Vertical bars represent LSD = 2.4 (Fisher, $p \leq 0.05$).

when compared to those at RT-21PSR stored for 14 days (ΔE of 11.7). On the other hand, after 8 d in MAP at 8 °C and 6 d in air at 21 °C, at day 14, fruit internal colour for MAP21-PSR was closer to fresh avocado pulp colour (ΔE of 8.1) than that of RT-21PSR (11.7). Avocados stored in MAP-21PSR showed the smallest ΔE (3.5 to 8.0) compared to those at REF-21PSR (6.8 to 12.6) at days 12, 18, 20, 22, 30, 34, and 36.

Regarding to the MAP-21PSR condition, fruits after two days of ripening (days 10, 18, 26, and 34) exhibited no increase ($p > 0.05$) in total colour difference. Moreover, the evolution of the colour coordinates was similar to that reported by Marquez *et al.* (2014) [b^* (35 to 45) and L^* (62 to 82)] in “Hass” avocado during the postharvest period at 20 °C. Furthermore, this behaviour was also similar to that reported by Zapata *et al.* (2016) in “Hass” avocado: immature [b^* (37.4) and L^* (79.9)] and ripened [b^* (36.9) and L^* (79.6)].

Chemical analysis

pH

During storage, pH ranged from 6.7 to 7.1. Comparing among types of storage, at days 8 and 16, pH of the fruit for RT-21, REF-8, and MAP-8 was not different ($p > 0.05$) (Figure 4). During the storage period, at each day of evaluation, pH of avocados for MAP-8 was not different from that for REF-8. Among days of storage, the pH of the fruits in MAP-8 did not change from days 0 to 16; however, at days 24 and 32 (pH of 7.0), it increased slightly ($p < 0.05$) compared to the initial day (pH of 6.7). In fruits

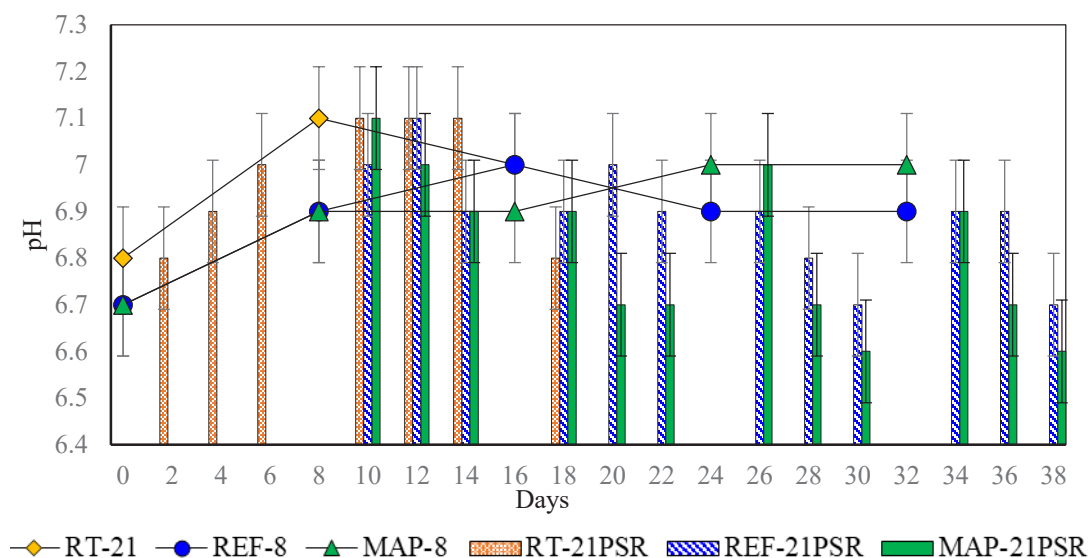


Figure 4. pH of “Hass” avocado during storage at room temperature at 21 °C (RT-21), refrigeration at 8 °C (REF-8), and modified atmosphere packaging at 8 °C (MAP-8) for 8, 16, 24, and 32 days and post-storage ripening (PSR) at 21 °C for 2, 4, and 6 days. Vertical bars represent LSD = 0.22 (Fisher, $p \leq 0.05$).

stored at RT-21, there was an increase in pH at 8 days of storage, compared to the initial pH. For REF-8, day 16 of storage, the pH also increased slightly, compared to the initial day.

During the post-storage ripening time of the fruit at 21 °C, a pH from 6.6 to 7.1 was found. Fruits with zero days of storage plus two, four, and six days of post-storage ripening are the control for RT. The pH for fruits with zero days of storage in REF-21PSR or MAP-21PSR are not shown, because it would be equivalent to zero days for both types of storage. For fruit stored in MAP-21PSR during eight days at 8 °C and four days at 21 °C in air (day 12) and for 24 days at 8 °C plus two days at 21 °C in normal atmosphere (day 26), an increase in 0.3 pH units was obtained, compared to day 0; although, not among them. At four and six days at PSR, after 16, 24, and 32 days in MAP-8 (days 20, 22, 28, 30, 36, and 38) the pH of fruits remained constant. Generally, during ripening of fruits, an increase in pH is observed because of the decrease in acidity. Astudillo-Ordóñez and Rodríguez (2018) studied quality variables related to the food quality and reported pH ranged from 6.6 to 7.1. In addition, they observed an increase in pH during the first days of storage, as well as a decrease after the third week of evaluation. This behaviour was also observed by Marquez *et al.* (2014) who reported an increase in pH after passing the postharvest days in “Hass” avocado fruit. The pH for fruits of two different municipalities (Carmen de Viboral and El Retiro) ranged from 6.4 to 6.6 and from 6.4 to 6.5, respectively. This agrees with reports from Torres *et al.* (2013) who determined the influence of the ripening state on the physicochemical properties of tropical fruits (mango, passion fruit, and papaya);

they found pH increased slightly with the increase in the state of ripening. Russo *et al.* (2014) evaluated the effect of the modified atmosphere on the activity and quality of “Fuerte” avocado; the effect of the atmosphere had a slight influence on the pH variation, they reported a pH from 6.4 to 7.1 during the 25 days of evaluation. During the ripening process, a pH decrease is characteristic; this is attributed to the degradation of the cell wall by pectin methylesterase on galacturonic acid chains, increasing the number of free carboxyl groups. Subsequently, the polygalacturonase acts on the segments that have been demethylated by the pectin methylesterase, increasing the carboxyl groups.

Total soluble solids (TSS)

In the storage of avocado at RT-21, REF-8, and MAP-8, no differences ($p > 0.05$) were found among methods (Figure 5). Furthermore, storage time in MAP-8 had no effect on TSS. Franco-Gaytán *et al.* (2018) reported a similar behaviour for TSS during storage in MAP. The total soluble solids ranged from 6.3 to 6.9 and 5.3 to 7.7 °Brix during storage and post-storage ripening, respectively. For RT-21 storage at eight days plus four days of post-storage ripening (day 12), an increase of 18.5 % in total soluble solids was observed in regard to the second day of ripening (day 2). On the other hand, the TSS of fruits from RT-21PSR at day 12 (7.7 °Brix) was different ($p < 0.05$) respect to REF-21PSR and MAP-21PSR after 32 days at 8 °C plus six days at 21 °C (day 38), showing a decrease of about 22 % in both storage methods. Total soluble solids of fruits in REF-21PSR and MAP-21PSR showed no difference ($p > 0.05$) between days 14 and 38. This shows the benefit of using REF or MAP as preservation methods.

Russo *et al.* (2014) evaluated the effect of modified atmospheres on the activity and quality of “Fuerte” avocado; the effect of the atmosphere had a slight influence on the

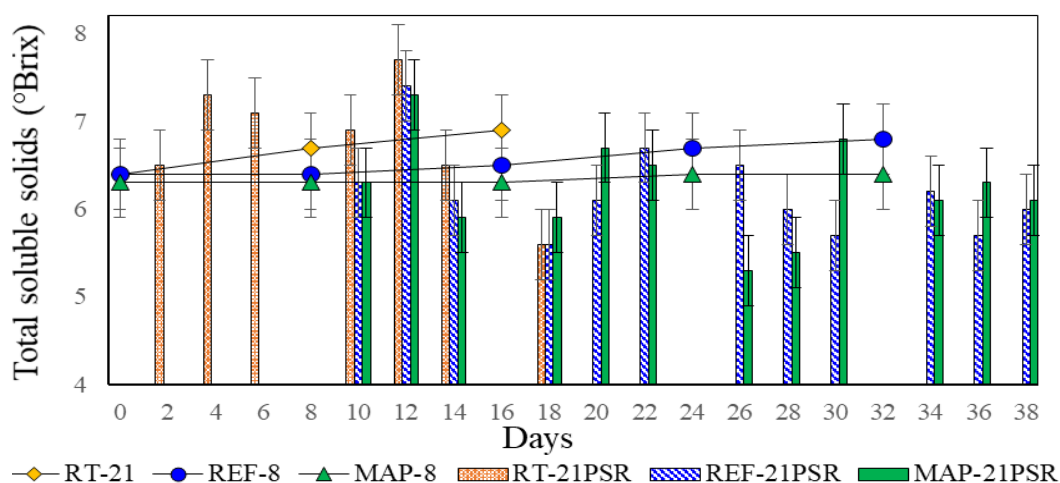


Figure 5. Total soluble solids of “Hass” avocado during storage at room temperature at 21 °C (RT-21), refrigeration at 8 °C (REF-8), and modified atmosphere packaging at 8 °C (MAP-8) for 8, 16, 24, and 32 days and post-storage ripening (PSR) at 21 °C for 2, 4, and 6 days. Vertical bars represent LSD = 0.8 °Brix (Fisher, $p \leq 0.05$).

variation of the total soluble solids. They reported, during the 25 days of evaluation, an interval from 5.9 to 7.9 °Brix. In addition, results of the present study are similar to those reported by Astudillo-Ordóñez and Rodríguez (2018) who found TSS from 5.1 to 7.3 °Brix; also, those researchers observed an increase in total soluble solids during the first four weeks. The physical and chemical variables in a fruit depend on both internal (cultivar and state of ripening) and external (environmental and storage conditions) factors. The increase of the total soluble solids obtained in this study can be explained because during ripening, starch is hydrolysed to organic acids, soluble pectin, and simple sugars; the latter constituting most of the total soluble solids. Total soluble solids decrease when the starch reserves are finished as a result of respiration.

CONCLUSIONS

“Hass” avocado stored in a modified atmosphere at 8 °C showed a firmness similar to that of the fresh fruit during the entire 32 d of storage. In contrast, fruits stored at room temperature showed a marked reduction in firmness during the first days of storage. In refrigeration, avocados showed a considerable reduction in firmness during the first eight days of storage.

Avocado stored in refrigeration or modified atmosphere at 8 °C showed a colour more similar to that of fresh avocado, with less total colour differences in exocarp and mesocarp, compared to those stored at room temperature. After storage at 8 °C in MAP, when avocados were transferred to normal atmosphere at 21 °C, firmness and external colour reached those of refrigeration or room temperature after six days of post-storage ripening. Avocado fruits stored at 8 °C in MAP should then be consumed in less than six days after disrupting the package.

The type of storage had no effect on pH and total soluble solids during storage for 8, 16, 24, and 32 d. The evaluated quality variables in “Hass” avocado during storage indicated that the use at 8 °C of AG Fresh® modified atmosphere packaging is a viable alternative in the preservation of these fruits. These storage conditions allow to extend the useful life of avocado for a period twice as long as that at room temperature, due to the firmness retention and lesser colour changes, properties that are important referents of quality.

REFERENCES

- AOAC. Official methods of analysis of AOAC International. 2012. AOAC International. Washington, DC. USA. 1500 p.
- Arana-Coronado JJ, Bijman J, Omta O, Oude-Lansink A. 2012. Inter-firm coordination in the Mexican avocado (*Persea americana*) industry: The Packer–Buyer Relationship. *Agrociencia* 46: 189–203.
- Astudillo-Ordóñez CE, Rodríguez P. 2018. Parámetros fisicoquímicos del aguacate *Persea americana* Mill. cv. Hass (Lauraceae) producido en Antioquia (Colombia) para exportación. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria* 19: 383–392. https://doi.org/10.21930/rcta.vol19_num2_art:694
- Barriada-Bernal LG, Aquino-González L, Méndez-Lagunas LL, Rodríguez-Ramírez J, Sandoval-Torres S. 2018. Physical and nutritional characterization of yucca fruits (*Yucca mixtecana*). *Agrociencia* 52: 347–359.

- Bill M, Sivakumar D, Thompson AK, Korsten L. 2014. Avocado fruit quality management during the postharvest supply chain. *Food Reviews International* 30: 169–202. <https://doi.org/10.1080/087559129.2014.907304>
- Defilippi BG, Ejsmentewicz T, Covarrubias MP, Gudenschwager O, Campos-Vargas R. 2018. Changes in cell wall pectins and their relation to postharvest mesocarp softening of “Hass” avocados (*Persea americana* Mill.). *Plant Physiology and Biochemistry* 128: 142–151. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2018.05.018>
- Espinosa-Cruz CC, Valle-Guadarrama S, Ybarra-Moncada M, Martínez-Damián MT. 2014. Comportamiento postcosecha de frutos de aguacate ‘Hass’ afectado por temperatura y atmósfera modificada con microperforado. *Revista Fitotecnia Mexicana* 37: 235–242.
- Espinosa-Moreno J, Centurión-Hidalgo D, Mayo-Mosqueda A, García-Correa C, Martínez-Morales A, García-Alamilla P, Lagunes-Gálvez LM. 2018. Flour quality of three banana cultivars (*Musa* spp.) resistant to black sigatoka disease in tabasco. *Agrociencia* 52: 217–229.
- FAO (Food and Agriculture Organization). 2019. FAOSTAT. FAO Database on food and agriculture. United Nations Food and Agriculture Organization. Rome, Italy. <https://www.fao.org/faostat/es/#home> (Retrieved: June 2021).
- Franco-Gaytán I, Saucedo-Veloz C, Calderón-Zavala G, Cruz-Huerta N, Teliz-Ortiz D, Galicia-Cabrera RM. 2018. Quality and shelf life of three strawberry (*Fragaria ananassa*) cultivars treated with high concentrations of CO₂ for short period. *Agrociencia* 52: 393–406.
- Magallanes-López AM, Martínez-Damián MT, Sahagún-Castellanos J, Pérez-Flores LJ, Marín-Montes IM, Rodríguez-Pérez JE. 2020. Post-harvest quality of 40 collections of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) native of Mexico. *Agrociencia* 54: 779–795. <https://doi.org/10.47163/agrociencia.v54i6.2184>
- Marquez CJ, Yepes D, Sánchez L, Osorio JA. 2014. Cambios físico-químicos del aguacate (*Persea americana* Mill. cv. “Hass”) en poscosecha para dos municipios de Antioquia. *Temas Agrarios* 19: 34–49.
- Nakhasi S, Schlimme D, Solomos T. 1991. Storage potential of tomatoes harvested at the breaker stage using modified atmosphere packaging. *Journal of Food Science* 56 (1): 55–59.
- Pech JC, Purgatto E, Bouzayen M, Latché A. 2018. Ethylene and Fruit Ripening. In *Annual Plant Reviews online*, Roberts, JA (Ed.). John Wiley and Sons: Hoboken, NJ, USA. pp. 275–304. <https://doi.org/10.1002/9781119312994.apr0483>
- Russo VC, Daiuto ER, Vietes RL, Smith RE. 2014. Postharvest parameters of the “Fuerte” avocado when refrigerated in different modified atmospheres. *Journal of Food Processing and Preservation* 38: 2006–2013. <https://doi.org/10.1111/jfpp.12177>
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2020. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. Ciudad de México, México. https://nube.siap.gob.mx/avance_agricola (Retrieved: June 2021).
- Terán-Erazo B, Alia-Tejcal I, Ballois-Morales R, Juárez-López P, López-Guzmán GG, Pérez-Arias GA, Núñez-Colín CA. 2019. Physical, chemical, and morphological fruit characterization of soursoup (*Annona muricata* L.). *Agrociencia* 53: 1013–1027.
- Torres R, Montes EJ, Pérez OA, Andrade RD. 2013. Relación del color y del estado de madurez con las propiedades fisicoquímicas de frutas tropicales. *Información Tecnológica* 24(3): 51–56. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642013000300007>
- Uscanga-Sosa DP, Pérez-Gago MB, Hernández-Cázares AS, Herrera-Corredor JA, Gómez-Merino FC, Contreras-Oliva AJA. 2019. Effect of antioxidants and pH on the quality and polyphenol oxidase activity of minimally processed eggplant (*Solanum melongena* L.). *Agrociencia* 53: 175–189.
- Valle-Guadarrama S, Morales-Cabrera M, Peña-Valdivia CB, Mora-Rodríguez B, Alia-Tejcal I, Corrales-García J, Gómez-Cruz A. 2013. Oxidative/fermentative behavior in the flesh of “Hass” avocado fruits under natural and controlled atmosphere conditions. *Food and Bioprocess Technology* 6: 272–282. <https://doi.org/10.1007/s11947-011-0747-8>
- Vázquez-López Y, Caro-Corrales J, Gaxiola-Camacho S, Iribe-Salazar R, Carrasco-Escalante M, Portillo-Loera J, Rodríguez-Gaxiola M. 2020. Permeability estimation of modified atmosphere package for “Hass” avocado storage. *Agrociencia* 54: 471–490. <https://doi.org/10.47163/agrociencia.v54i4.2045>
- Zapata JE, Restrepo-Suárez AM, Arias L. 2016. Cinética de la deshidratación osmótica del aguacate (*Persea americana*), y optimización del color por medio de superficies de respuesta. *Información Tecnológica* 27: 17–32. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642016000400003>

VARIABLES DE CALIDAD DEL AGUACATE “HASS” ALMACENADO EN EMPAQUES DE ATMÓSFERA MODIFICADA

Yessica Vázquez-López¹, Rosalina Iribe-Salazar², Marco Carrasco-Escalante²,
Soila Gaxiola-Camacho¹, José Caro-Corrales^{2*}

¹ Universidad Autónoma de Sinaloa. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Posgrado en Ciencias Agropecuarias. Boulevard San Ángel No. 3886, Fraccionamiento San Benito, Culiacán, Sinaloa, México. C. P. 80260.

² Universidad Autónoma de Sinaloa. Facultad de Ciencias Químico Biológicas. Posgrado en Ciencia y Tecnología de Alimentos. Calzada de las Américas Norte No. 2771, Burócrata, Culiacán, Sinaloa, México. C. P. 80013.

* Autor para correspondencia: josecaro@uas.edu.mx

RESUMEN

El empaque de atmósfera modificada (MAP) y la refrigeración de frutas y hortalizas se utilizan para prolongar su vida útil. La hipótesis de este estudio es que los atributos de calidad de los aguacates almacenados en MAP a 8 °C pueden conservarse durante más tiempo, en comparación con el almacenamiento a temperatura ambiente (RT) o en refrigeración (REF). Sin embargo, durante la maduración post-almacenamiento (PSR), estas variables de calidad se acercan a las de la refrigeración o a las de la temperatura ambiente en un tiempo breve. El objetivo de esta investigación fue evaluar las variables de calidad del aguacate (*Persea americana* Mill.) cv. “Hass” durante el almacenamiento en MAP a 8 °C y PSR a 21 °C, y contrastarlas con las obtenidas durante el almacenamiento a RT o en REF. Se utilizaron frutos en su madurez fisiológica y bolsas MAP. Se aplicó un diseño completamente aleatorio; los factores fueron: tipo de almacenamiento (RT 21 °C, REF 8 °C y MAP 8 °C), tiempo de almacenamiento (0, 8, 16, 24 y 32 d), y tiempo de PSR a 21 °C (0, 2, 4 y 6 d). Las variables de calidad fueron la firmeza (fuerza de penetración), la diferencia total de color (ΔE) en el exocarpio y el mesocarpio (colorímetro), el pH (potenciometría) y los sólidos solubles totales (TSS, refractometría). Los aguacates almacenados en MAP conservaron la firmeza, que fue mayor en comparación con REF y RT durante el período de almacenamiento. La conservación de firmeza para los aguacates en RT, REF y MAP, en el día 16 fue de 5.7, 32.6 y 87.2 %, y en el día 32, fue de 0 (sin lectura), 9.5 y 78.2 %, respectivamente. La diferencia total de color en el exocarpio y el mesocarpio, el pH y los TSS oscilaron entre 3.8 y 25.6, 3.2 y 20.3, 6.7 y 7.1, y 5.3 y 7.7 °Brix, respectivamente. Durante el periodo de almacenamiento, los frutos almacenados en MAP mostraron firmeza, ΔE del exocarpio y del mesocarpio similares a los de los frutos frescos. El tipo de almacenamiento no mostró ningún efecto sobre el pH y sobre los TSS durante el período de almacenamiento. El empaque de atmósfera modificada a 8 °C permitió prolongar la vida útil del aguacate “Hass” durante un periodo dos veces mayor que a temperatura ambiente, con base en que se redujeron los cambios de firmeza y color, propiedades que son puntos de referencia importantes para la calidad.

Palabras clave: *Persea americana* Mill., aguacate, atmósfera modificada, poscosecha, refrigeración.

Citation: Vázquez-López Y, Iribe-Salazar R, Carrasco-Escalante M, Gaxiola-Camacho S, Caro-Corrales J. 2022. Variables de calidad del aguacate “Hass” almacenado en empaques de atmósfera modificada.

Agrociencia. 56(4): 805-829. <https://doi.org/10.47163/agrociencia.v56i4.2460>

Editor in Chief:
Dr. Fernando C. Gómez Merino

Received: October 23, 2021.

Approved: May 18, 2022.

Published in Agrociencia:
June 24, 2022.

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-Non-Commercial 4.0 International license.



INTRODUCCIÓN

El aguacate (*Persea americana* Mill.) es un fruto muy importante para la economía de México (Arana-Coronado *et al.*, 2012). En 2019, la producción mundial se estimó en 7.3 millones de toneladas (Megagramos, Mg). México fue el productor principal, generó 2.3 millones de Mg y exportó 1.2 millones de Mg (FAO, 2019). Michoacán, México, es el estado que registra la mayor producción de este fruto; en 2020, cosechó 1.7 millones de Mg (SIAP, 2020).

El manejo poscosecha es muy importante para conservar la calidad de las frutas y hortalizas (Espinosa-Moreno *et al.*, 2018); un manejo inadecuado provoca pérdidas económicas. Los frutos en madurez fisiológica continúan con el proceso de maduración para consumo después de la cosecha. La maduración es el proceso que se inicia desde las últimas fases de crecimiento y desarrollo del fruto hasta las primeras fases de senescencia. Por lo tanto, el proceso de maduración es una fase importante para conservar los atributos de calidad. Algunas de las modificaciones asociadas con el proceso de maduración son los cambios en el color, la firmeza, el contenido de azúcares, la producción de compuestos volátiles, el metabolismo respiratorio y la producción de etileno (Pech *et al.*, 2018).

La refrigeración es una de las tecnologías más utilizadas para conservar los frutos de aguacate. En escala comercial, el aguacate se almacena entre 5 y 6 °C; si el almacenamiento se realiza a una temperatura inferior, puede causar daño por frío (Bill *et al.*, 2014).

El empaque de atmósfera modificada para frutas y hortalizas se utiliza para prolongar su vida útil al reducir la velocidad de respiración y en consecuencia su velocidad de deterioro; la reducción se consigue al modificar la atmósfera dentro del empaque (Vázquez-López *et al.*, 2020). Los efectos positivos de la atmósfera se pueden comprobar principalmente al medir la firmeza y el color de los frutos, propiedades que dependen de la conversión de los carbohidratos de las paredes celulares en azúcares y de la degradación de la clorofila en la cáscara. La atmósfera modificada puede crearse por medio de la inyección en el empaque de una mezcla de gases de composición deseada (atmósfera activa) o a partir de la respiración del producto (atmósfera pasiva).

La atmósfera modificada activa se crea con un flujo continuo de la mezcla gaseosa para sustituir el aire. La atmósfera pasiva se consigue con el consumo de O₂ y la producción de CO₂, generados por el fruto dentro del empaque. En ambos casos, la permeabilidad del material de empaque es importante para permitir la difusión de los gases entre este empaque y el exterior, hasta alcanzar la atmósfera modificada estable. Russo *et al.* (2014) informaron que una atmósfera modificada de 7.0 % de CO₂ y 4.0 % de O₂ a 10 °C fue el método más eficaz de almacenamiento para minimizar la pérdida de peso y la producción de CO₂ en el aguacate cv. "Fuerte".

Los frutos del aguacate de manera regular se empacan en cajas de cartón durante su almacenamiento. Hoy en día, se ofrecen en el mercado bolsas de atmósfera modificada, que prolongan la vida útil de las frutas y hortalizas durante su almacenamiento. Sin embargo, estos empaques no siempre se utilizan, o a veces se usan de forma genérica

para diversas frutas. Hay pocos empaques para un fruto específico; y en algunos casos no cumplen los requisitos para generar la atmósfera óptima, maximizar la conservación y mantener la calidad adecuada.

El empaque de atmósfera modificada (MAP) ralentiza los procesos metabólicos; sin embargo, cuando se retira el fruto de la bolsa, estos procesos aumentan, y al cabo de unos días las variables de calidad se acercan a las del fruto de control (Nakhasi *et al.*, 1991). La hipótesis de este estudio es que los aguacates almacenados en MAP a 8 °C tienen mejores variables de calidad que los almacenados en refrigeración (REF) o temperatura ambiente (RT). Aunque, una vez que los aguacates se mantienen fuera del MAP a 21 °C, durante la maduración post-almacenamiento, las variables de calidad se acercan a las de la refrigeración o a las de la temperatura ambiente en un corto período. El objetivo de esta investigación fue evaluar las variables de calidad del aguacate “Hass” durante el almacenamiento en bolsas AG Fresh® de atmósfera modificada a 8 ± 1 °C y la maduración post-almacenamiento a 21 °C, y contrastarlas con las obtenidas durante almacenamiento en refrigeración o a temperatura ambiente.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los aguacates “Hass” (*Persea americana* Mill.) se cosecharon 35 semanas después de la floración, en estado de madurez fisiológica, y se seleccionaron en función del tamaño (220.4 ± 11.8 g) y el color ($L^* = 36.5 \pm 2.1$, $a^* = -13.2 \pm 2.1$ y $b^* = 18.0 \pm 3.1$). Los aguacates procedían de Tacámbaro, Michoacán, México. Los frutos se higienizaron con una solución de hipoclorito de sodio al 1 % durante 20 min (Russo *et al.*, 2014). Se almacenaron en tres lotes: 1: temperatura ambiente a 21 ± 1 °C (RT-21), 2: refrigeración a 8 ± 1 °C (REF-8), y 3: atmósfera modificada (MAP-8) en bolsas (AG Fresh® Liner Box) fabricadas con una película de plástico comercial (polietileno de baja densidad/alcohol vinílico de etileno/polietileno de baja densidad) con un espesor de 0.20 mm (8 mil) y dimensiones de 73.7×66 cm a 8 ± 1 °C. Las concentraciones iniciales de O₂ y CO₂ fueron las de la atmósfera normal, 21 y 0.03 % mol, respectivamente. Las bolsas se cerraron con bridas de plástico y la respiración de los frutos generó una atmósfera modificada pasiva.

Análisis estadístico

Se utilizó un diseño completamente aleatorio. Las variables de respuesta fueron la firmeza, la diferencia total de color en el exocarpo y el mesocarpo, el pH y los sólidos solubles totales. Se seleccionaron tres factores, 1: tipo de almacenamiento (temperatura ambiente a 21 °C, refrigeración a 8 °C y atmósfera modificada a 8 °C); 2: tiempo de almacenamiento (0, 8, 16, 24 y 32 d); y 3: tiempo de maduración post-almacenamiento a 21 °C (0, 2, 4 y 6 d). En cada tratamiento, la unidad experimental consistió en tres frutos. Se realizaron seis réplicas, para un total de 1080 aguacates. En el caso de los aguacates en MAP a 8 °C, después de cada tiempo de almacenamiento, se retiraron 72 frutos de las bolsas, se mantuvieron a 21 °C en atmósfera normal (aire) y se evaluaron 18 de ellos (3 frutos por unidad, 6 réplicas) durante cada tiempo de maduración post-

almacenamiento (0 a 6 días). Las diferencias se evaluaron con la prueba de comparación de medias de Fisher, $p \leq 0.05$.

Análisis físico

Firmeza

La firmeza se evaluó con un medidor de fuerza digital (Chatillon, DFE 100, Scientific Co., Chicago Il., EE. UU.) con una punta esférica de 11 mm de diámetro que deformó la pulpa hasta 5 mm de profundidad, a una velocidad de 50 mm por minuto. Se realizaron seis réplicas con tres lecturas en cada unidad experimental. La firmeza se expresó como la máxima fuerza de compresión (N).

Diferencia total de color en el exocarpio y el mesocarpio ($\Delta E_{\text{exocarpio}}$ y $\Delta E_{\text{mesocarpio}}$)

Las variables de color en el exocarpio y el mesocarpio se determinaron con un colorímetro portátil (Minolta CR-210, Osaka, Japón), según la metodología reportada por Barriada-Bernal *et al.* (2018). Se realizaron seis réplicas con tres lecturas en cada unidad experimental. La diferencia total de color se calculó con la siguiente ecuación:

$$\Delta E = \left[(a^* - a_i^*)^2 + (b^* - b_i^*)^2 + (L^* - L_i^*)^2 \right]^{1/2}$$

Las variables L_i^* , a_i^* y b_i^* antes de los tratamientos se tomaron como referencia.

Análisis químico

pH

El pH se evaluó según el método 981.12 de la AOAC (AOAC, 2012). Se preparó una solución con 10 g de pulpa y 20 mL de agua neutra (pH 7) y se mezcló durante 30 s con un homogeneizador (Ultra-Turrax IKA, T18 basic S1, Alemania). Después, la solución filtrada se introdujo en un matraz aforado de 100 mL y se enrasó con agua neutra. Se tomó una alícuota de 20 mL y se determinó el pH con un potenciómetro (520-A, Orion Research Inc., Boston, EE. UU.) Se realizaron seis réplicas con tres lecturas en cada unidad experimental.

Sólidos solubles totales (TSS)

Los sólidos solubles totales se evaluaron de acuerdo con Terán-Erazo *et al.* (2019). Se utilizó un refractómetro (300001, Sper Scientific) y se colocaron gotas del extracto de pulpa en el prisma. Los resultados se expresaron en °Brix. Se hicieron seis réplicas, con tres lecturas en cada unidad experimental.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis físico

Firmeza

La firmeza inicial de los aguacates fue de 96.6, 86.5 y 93.7 N para RT-21, REF-8 y MAP-8, respectivamente (Figura 1). Al comparar los tipos de almacenamiento, durante el

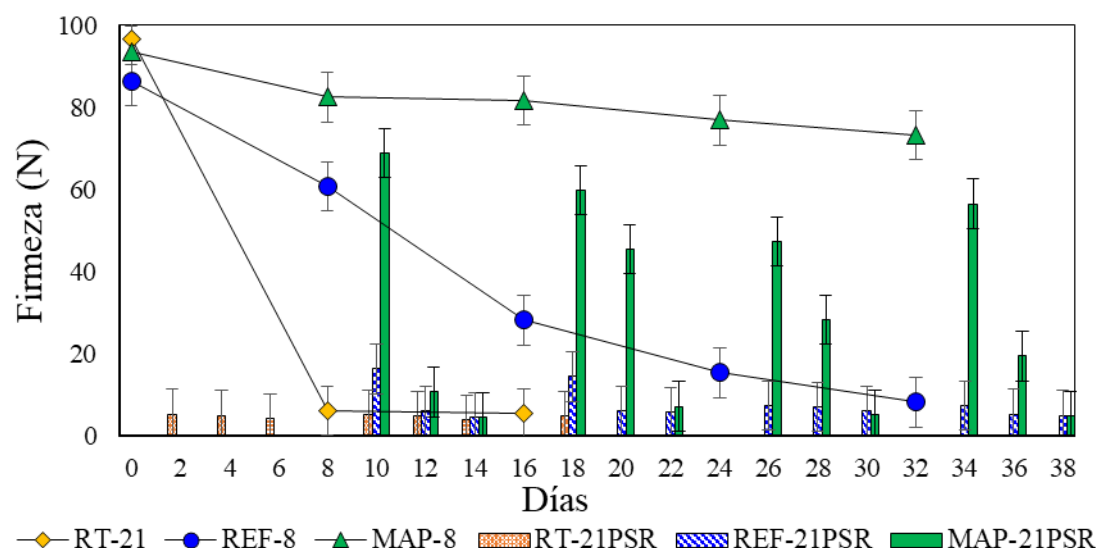


Figura 1. Firmeza del aguacate “Hass” durante el almacenamiento a temperatura ambiente a 21 °C (RT-21), refrigeración a 8 °C (REF-8), y empaque en atmósfera modificada a 8 °C (MAP-8) durante 8, 16, 24 y 32 días, y maduración post-almacenamiento (PSR) a 21 °C durante 2, 4 y 6 días. Las barras verticales representan DMS = 12 N (Fisher, $p \leq 0.05$).

período de almacenamiento ($p > 0.05$), los aguacates almacenados en MAP-8 conservaron la firmeza que fue mayor ($p \leq 0.05$) en comparación con RT-21 y REF-8. A los 16 días de almacenamiento, la retención de firmeza de los aguacates en RT-21, REF-8 y MAP-8 fue de 5.7, 32.6 y 87.2 %, respectivamente. La firmeza de los frutos a RT-21 sólo se pudo medir hasta el día 16, donde se obtuvo la menor retención de firmeza; después de 18 d, los frutos estaban en mal estado (en descomposición). Esta condición hizo que el diseño experimental fuera no balanceado. La evaluación de la firmeza mostró que los aguacates en el MAP-8 retrasaron el ablandamiento ya que, a los 32 d de almacenamiento, la firmeza fue del 78.2 %, mientras que los frutos en el REF-8 sólo conservaron el 9.5 % de la firmeza inicial. La combinación de baja temperatura y envasado en atmósfera modificada (MAP-8) ejerció un mayor efecto positivo en la conservación de la firmeza en comparación con REF-8. Después de cada tiempo de almacenamiento, los aguacates del MAP-8 se retiraron de las bolsas, se mantuvieron a 21 °C y continuaron el proceso de maduración post-almacenamiento (PSR) al aire, a atmósfera normal (MAP-21PSR). La atmósfera de equilibrio generada en MAP-8 durante el almacenamiento evitó la disminución drástica de la firmeza en los primeros dos días de maduración post-almacenamiento a 21 °C en atmósfera normal (aire), MAP-21PSR (10, 18, 26 y 34 d), con 60.3 % de conservación de la firmeza en el día 34; mientras que para REF-21PSR fue del 8.4 %. A los seis días de maduración post-almacenamiento (14, 22, 30 y 38 d), la firmeza de los frutos de MAP-21PSR alcanzó la de REF-21PSR o RT-21PSR.

La firmeza es la variable más representativa del proceso de maduración del aguacate “Hass” y se considera un criterio importante para evaluar la vida posterior a la

cosecha. En general, estos resultados coinciden con los reportados por Espinoza-Cruz *et al.* (2014), quienes concluyeron que el uso de bolsas microperforadas para aguacate “Hass” permite mantener una mejor firmeza comparada con los frutos almacenados en atmósfera normal. Valle-Guadarrama *et al.* (2013) evaluaron el efecto de cambiar la concentración de O_2 en frutos de aguacate “Hass” almacenados en atmósfera normal (21 % mol de O_2) y en atmósfera controlada (5.3 % mol de O_2) a 20 °C. Estos investigadores encontraron una conservación de la firmeza del 7 % en los frutos almacenados en atmósfera normal después de 11 días de almacenamiento y de 30 % para los frutos en atmósfera controlada. Como comparación, en el día 16 de almacenamiento en esta investigación, la firmeza fue del 87.2 % para los frutos en MAP a 8 °C (MAP-8). La disminución de la firmeza en estudios anteriores puede atribuirse a la actividad de la poligalacturonasa (Magallanes-López *et al.*, 2020) y de la pectin-metilesterasa (Defilippi *et al.*, 2018). La pectin-metilesterasa elimina los grupos metoxilos de los constituyentes pécticos de la pared celular que luego son despolimerizados por la poligalacturonasa; esto reduce la turgencia, la estructura y la composición de la pared celular (Uscanga-Sosa *et al.*, 2019).

Por otro lado, la temperatura influye en el ritmo de las reacciones metabólicas. A medida que aumenta la temperatura los procesos enzimáticos se aceleran, hasta que se alcanza la senescencia. La mejor conservación de la firmeza en atmósfera modificada se debe principalmente a las concentraciones de O_2 y CO_2 generadas en el interior del empaque y a la baja temperatura. Una reducción en la concentración de oxígeno provoca una disminución de las velocidades de respiración, lo que ralentiza la maduración.

Diferencia total de color en el exocarpio ($\Delta E_{\text{exocarpio}}$)

La diferencia total de color en la cáscara de aguacate osciló entre 3.8 y 25.6. Para los frutos en MAP-8 varió de 3.8 a 5.6 (Figura 2). Los aguacates en MAP-8 conservaron ($p > 0.05$) el color adecuado durante un período más largo (32 d) en comparación con los que estaban en RT-21 (24 d). Esto demuestra el efecto positivo del empaque a baja temperatura y en atmósfera modificada durante el almacenamiento. El cambio de color del exocarpio en los días 8 y 16 en RT-21 fue mayor ($p \leq 0.05$) que en REF-8 o MAP-8; mientras que estos últimos dos métodos de almacenamiento no causaron ninguna diferencia ($p > 0.05$). El color externo del aguacate almacenado en el MAP-8 no cambió ($p > 0.05$) durante el período de almacenamiento; esto indica que tenían un color más similar al del día 0, en comparación con los otros dos tipos de almacenamiento. Además, la coordenada de color a^* , durante el almacenamiento a RT-21 desde el primer día hasta el día 16, aumentó de -13.0 a -2.0, mientras que las variables de color L^* y b^* disminuyeron de 36.2 a 26.7 y de 17.7 a 3.0, respectivamente. Esto implica que los aguacates a RT-21 mostraron un cambio en el color de la cáscara de verde oscuro a gris oscuro. El proceso de maduración post-almacenamiento del aguacate del MAP-8 se realizó en atmósfera normal a 21 °C (MAP-21PSR). Como se esperaba, la diferencia total de color mostró un aumento para los tres métodos de almacenamiento durante la maduración

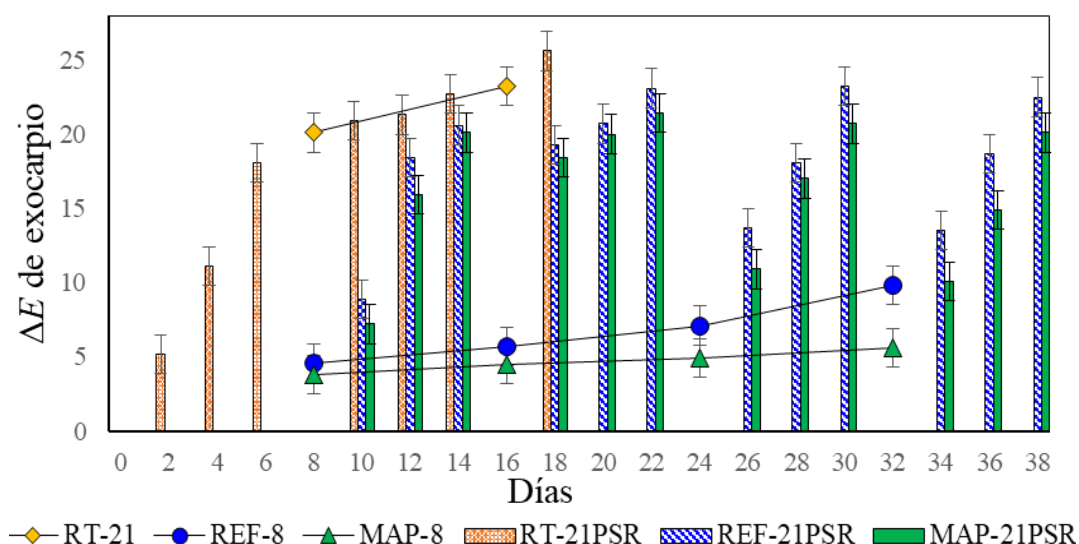


Figura 2. Diferencia total de color en el exocarpio del aguacate “Hass” durante el almacenamiento a temperatura ambiente a 21 °C (RT-21), refrigeración a 8 °C (REF-8) y empaque en atmósfera modificada a 8 °C (MAP-8) durante 8, 16, 24 y 32 días y maduración post-almacenamiento (PSR) a 21 °C durante 2, 4 y 6 días. Las barras verticales representan $DMS = 2.6$ (Fisher, $p \leq 0.05$).

después del almacenamiento. Además, el efecto del tipo de almacenamiento sobre los atributos de color en el fruto es apreciable, ya que los frutos procedentes de MAP mostraron menores diferencias totales de color (MAP-21PSR). Tras dos días de maduración en atmósfera normal a 21 °C (MAP-21PSR), más ocho días en MAP-8 (día 10), los frutos mantuvieron un 34 % en la diferencia total de color, en comparación con los de RT-21PSR. Por otra parte, desde el día 10 hasta el día 14, y el día 18, los frutos en RT-21PSR mostraron un grado avanzado de maduración (negro/oscur), mientras que los de REF-21PSR o MAP-21PSR todavía tenían zonas verdes oscuras. En la fase final del análisis, concretamente durante los días 34 y 36, el método de almacenamiento tuvo un efecto sobre el color externo del fruto. Los frutos de MAP-21PSR en el día 36 mostraron los menores cambios en el color del exocarpio, en comparación con los frutos de REF-21PSR. Sin embargo, después de 6 días de maduración post-almacenamiento (día 38), el color externo del fruto alcanzó el de REF-21PSR o RT-21PSR.

El ennegrecimiento de la cáscara es una de las características directamente relacionadas con el grado de maduración en el aguacate “Hass”. La evolución obtenida de las coordenadas de color coincide con el comportamiento reportado por Márquez *et al.* (2014) [a^* (-6 a 2), b^* (14 a 2) y L^* (36 a 25)] al estudiar el cambio de color de la cáscara durante el periodo de poscosecha, a 20 °C en el aguacate “Hass”. Los frutos tropicales almacenados en atmósfera normal (aire) pierden su color verde más rápidamente que los almacenados en MAP; este efecto se atribuye a una desincronización del proceso de maduración. La variación de la diferencia total de color durante la maduración de

los frutos se asocia visualmente con una disminución del color verde brillante a oscuro/negro, color distintivo de un aguacate maduro. La presencia de clorofila *b* y fitol debido a la degradación de la clorofila *b*, por acción enzimática, son probablemente responsables de las variaciones de color; así como por la degradación de carotenoides que produce un aumento aparente de las antocianinas.

Diferencia total de color en el mesocarpio ($\Delta E_{\text{mesocarpio}}$)

La diferencia total de color en la pulpa osciló entre 3.2 y 20.3. Para los frutos almacenados en MAP-8, osciló entre 4.0 y 4.9 (Figura 3). No hubo diferencias ($p > 0.05$) en ΔE para RT-21, REF-8 y MAP-8, cuando se compararon en el octavo día. Además, el color interno de los frutos almacenados en REF-8 o MAP-8 no mostró diferencias ($p > 0.05$) para ningún nivel de tiempo de almacenamiento, que osciló entre 4.0 y 6.2. Además, durante el almacenamiento la única condición que ejerció un efecto fue el RT-21 en el día 16, que mostró una ΔE de 16.6. Esto último puede atribuirse a la excesiva maduración de los frutos, ya que la pulpa de los aguacates pasó a tener coloraciones marrones, lo que afectó principalmente el comportamiento de las variables L^* y b^* . La variable b^* para RT-21 fue de 30.5 cuando se evaluó en el día 16, mientras que en el día 32, REF-8 y MAP-8 mostraron variables b^* similares (35.4 y 38.2, respectivamente), correspondientes a un color amarillo-verde claro ($L^* = 80$ y $a^* = -12$). Por otro lado, la variable L^* mostró un comportamiento análogo, ya que los aguacates en el día 16 a RT-21 tuvieron la menor luminosidad (66.8), mientras que L^* en REF-8 y MAP-8 en el día 32 se mantuvo alrededor de 80.

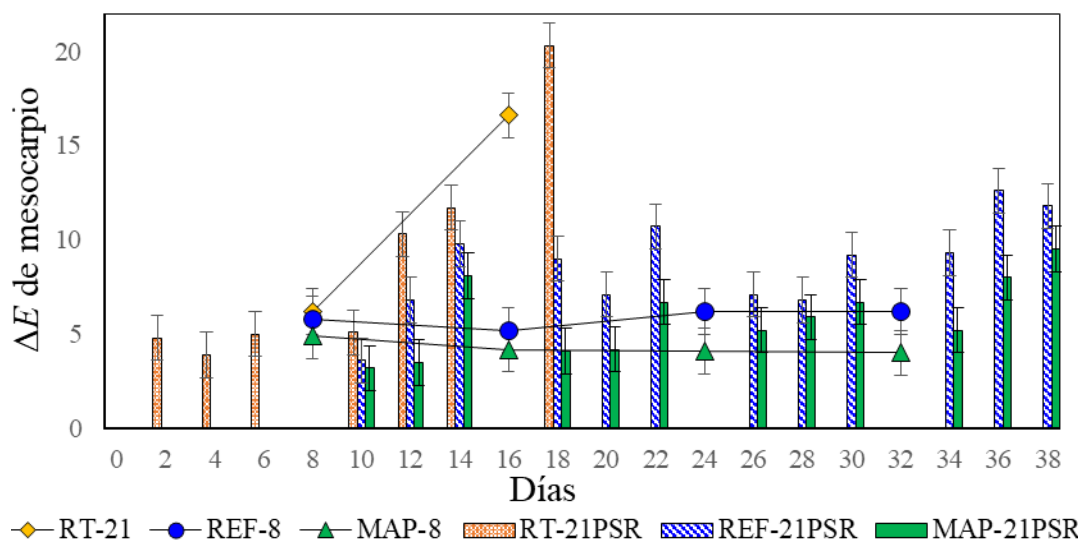


Figura 3. Diferencia total de color en el mesocarpio del aguacate “Hass” durante el almacenamiento a temperatura ambiente a 21 °C (RT-21), refrigeración a 8 °C (REF-8) y empaque en atmósfera modificada a 8 °C (MAP-8) durante 8, 16, 24 y 32 días y maduración post-almacenamiento (PSR) a 21 °C durante 2, 4 y 6 días. Las barras verticales representan $DMS = 2.4$ (Fisher, $p \leq 0.05$).

El proceso de maduración post-almacenamiento de los aguacates del MAP-8 se realizó a 21 °C en aire (MAP-21PSR). En concordancia con el comportamiento de la ΔE del exocarpio, esta variable mostró un incremento para los tres métodos de almacenamiento cuando se evaluó en el mesocarpio de los frutos. La mayor variación de color se obtuvo en el día 18 para la condición RT-21PSR (20.3). Por el contrario, los aguacates almacenados en MAP-21PSR durante 32 días a 8 °C más dos y cuatro días a 21 °C en aire (días 34 y 36) tuvieron un color más cercano (ΔE de 5.2 y 8.0) a los frutos frescos, en comparación con los de RT-21PSR almacenados durante 14 d (ΔE de 11.7). Por otro lado, después de 8 d en MAP a 8 °C y 6 d en aire a 21 °C, en el día 14, el color interno del fruto para MAP21-PSR estuvo más cerca del color de la pulpa del aguacate en fresco (ΔE de 8.1) que el de RT-21PSR (11.7). Los aguacates almacenados en MAP-21PSR mostraron la menor ΔE (3.5 a 8.0) en comparación con los de REF-21PSR (6.8 a 12.6) en los días 12, 18, 20, 22, 30, 34 y 36.

En cuanto a la condición MAP-21PSR, los frutos después de dos días de maduración (días 10, 18, 26 y 34) no mostraron ningún aumento ($p > 0.05$) en la diferencia total de color. Además, la evolución de las coordenadas de color fue similar a la reportada por Márquez *et al.* (2014) [b^* (35 a 45) y L^* (62 a 82)] en el aguacate “Hass”, durante el periodo de poscosecha, a 20 °C. Asimismo, este comportamiento también fue similar al reportado por Zapata *et al.* (2016) en el aguacate “Hass”: inmaduro [b^* (37.4) y L^* (79.9)] y maduro [b^* (36.9) y L^* (79.6)].

Análisis químico

pH

Durante el almacenamiento, el pH osciló entre 6.7 y 7.1. Al comparar los tipos de almacenamiento, en los días 8 y 16, el pH de los frutos para RT-21, REF-8 y MAP-8 no fue diferente ($p > 0.05$) (Figura 4). Durante el periodo de almacenamiento, en cada día de evaluación, el pH de los aguacates para MAP-8 no fue diferente al de REF-8. En los días de almacenamiento, el pH de los frutos en el MAP-8 no cambió en los días 0 a 16; sin embargo, en los días 24 y 32 (pH de 7.0), aumentó ligeramente ($p < 0.05$) en comparación con el día inicial (pH de 6.7). En los frutos almacenados a RT-21, se produjo un aumento del pH a los 8 días de almacenamiento, en comparación con el pH inicial. En el caso de REF-8, el día 16 de almacenamiento el pH también aumentó ligeramente, en comparación con el día inicial.

Durante el tiempo de maduración post-almacenamiento de los frutos a 21 °C, se encontró un pH de 6.6 a 7.1. Los frutos con cero días de almacenamiento más dos, cuatro y seis días de maduración post-almacenamiento fueron el control en RT. No se muestra el pH para los frutos con cero días de almacenamiento en REF-21PSR o MAP-21PSR, porque sería equivalente a cero días para ambos tipos de almacenamiento. Para los frutos almacenados en MAP-21PSR durante ocho días a 8 °C y cuatro días a 21 °C en aire (día 12) y durante 24 días a 8 °C, más dos días a 21 °C en atmósfera normal (día 26), se obtuvo un aumento de 0.3 unidades de pH, en comparación con el día 0; aunque no entre ellos. A los cuatro y seis días en PSR, después de 16, 24 y 32 días en MAP-8 (días 20, 22, 28, 30, 36 y 38) el pH de los frutos se mantuvo constante.

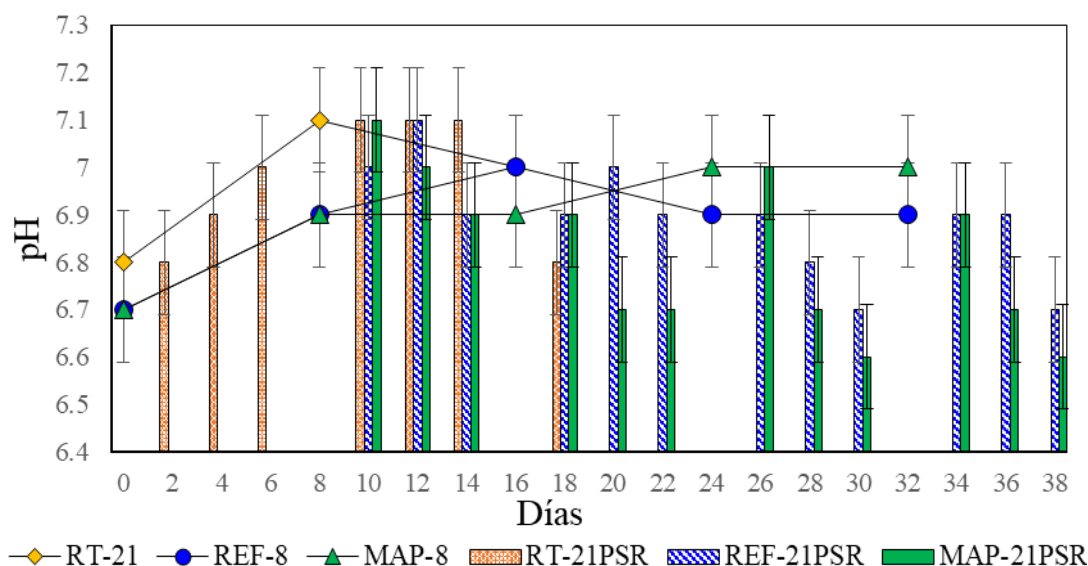


Figura 4. pH del aguacate “Hass” durante el almacenamiento a temperatura ambiente a 21 °C (RT-21), refrigeración a 8 °C (REF-8), y empaque en atmósfera modificada a 8 °C (MAP-8) durante 8, 16, 24 y 32 días y maduración post-almacenamiento (PSR) a 21 °C durante 2, 4 y 6 días. Las barras verticales representan DMS = 0.22 (Fisher, $p \leq 0.05$).

Generalmente, durante la maduración de los frutos se observa un aumento del pH debido a la disminución de la acidez. Astudillo-Ordóñez y Rodríguez (2018) estudiaron variables cualitativas relacionadas con la calidad de los alimentos e informaron que el pH oscilaba entre 6.6 y 7.1. Además, observaron un aumento del pH durante los primeros días de almacenamiento, así como una disminución después de la tercera semana de evaluación. Este comportamiento también fue observado por Márquez *et al.* (2014) quienes reportaron un aumento del pH después de haber transcurrido los días posteriores a la cosecha en el fruto del aguacate “Hass”. El pH para los frutos de dos municipios diferentes (Carmen de Viboral y El Retiro) osciló entre 6.4 y 6.6 y entre 6.4 y 6.5, respectivamente. Esto coincide con lo reportado por Torres *et al.* (2013) quienes determinaron la influencia del estado de maduración en las propiedades fisicoquímicas de frutos tropicales (mango, maracuyá y papaya); encontraron que el pH aumentó ligeramente con el aumento del estado de maduración. Russo *et al.* (2014) evaluaron el efecto de la atmósfera modificada en la actividad y calidad del aguacate “Fuerte”; el efecto de la atmósfera tuvo una ligera influencia en la variación del pH: reportaron un pH de 6.4 a 7.1 durante los 25 días de evaluación.

Durante el proceso de maduración, hay un descenso del pH; esto se atribuye a la degradación de la pared celular por parte de la pectin-metilesterasa sobre las cadenas de ácido galacturónico, lo cual aumenta el número de grupos carboxilo libres. Después, la poligalacturonasa actúa sobre los segmentos que han sido desmetilados por la pectin-metilesterasa, y aumentan los grupos carboxilo.

Sólidos solubles totales (TSS)

En el almacenamiento del aguacate en RT-21, REF-8 y MAP-8, no se encontraron diferencias ($p > 0.05$) entre los métodos (Figura 5). Además, el tiempo de almacenamiento en MAP-8 no tuvo efecto sobre los TSS. Franco-Gaytán *et al.* (2018) reportaron un comportamiento similar para los TSS durante el almacenamiento en MAP. Los sólidos solubles totales oscilaron entre 6.3 y 6.9 y 5.3 a 7.7 °Brix durante el almacenamiento y la maduración post-almacenamiento, respectivamente. Para el almacenamiento RT-21 a ocho días más cuatro días de maduración post-almacenamiento (día 12), se observó un aumento del 18.5 % en los sólidos solubles totales con respecto al segundo día de maduración (día 2). Por otro lado, los TSS de los frutos de RT-21PSR en el día 12 (7.7 °Brix) fueron diferentes ($p \leq 0.05$) respecto a REF-21PSR y MAP-21PSR después de 32 d a 8 °C, más seis días a 21 °C (día 38), al mostrar una disminución de aproximadamente 22 % en ambos métodos de almacenamiento. Los sólidos solubles totales de los frutos en REF-21PSR y MAP-21PSR no mostraron diferencias ($p > 0.05$) entre los días 14 y 38. Esto demuestra el beneficio de utilizar REF o MAP como métodos de conservación. Russo *et al.* (2014) evaluaron el efecto de las atmósferas modificadas en la actividad y calidad del aguacate “Fuerte”; el efecto de la atmósfera tuvo una ligera influencia en la variación de los sólidos solubles totales. Esos autores registraron un intervalo de 5.9 a 7.9 °Brix durante los 25 días de evaluación. Los resultados de esta investigación son similares a los reportados por Astudillo-Ordóñez y Rodríguez (2018) quienes encontraron TSS de 5.1 a 7.3 °Brix y un incremento de los sólidos solubles totales durante las primeras cuatro semanas. Las variables físicas y químicas de un fruto dependen de factores internos (cultivar y estado de maduración) y externos (condiciones ambientales

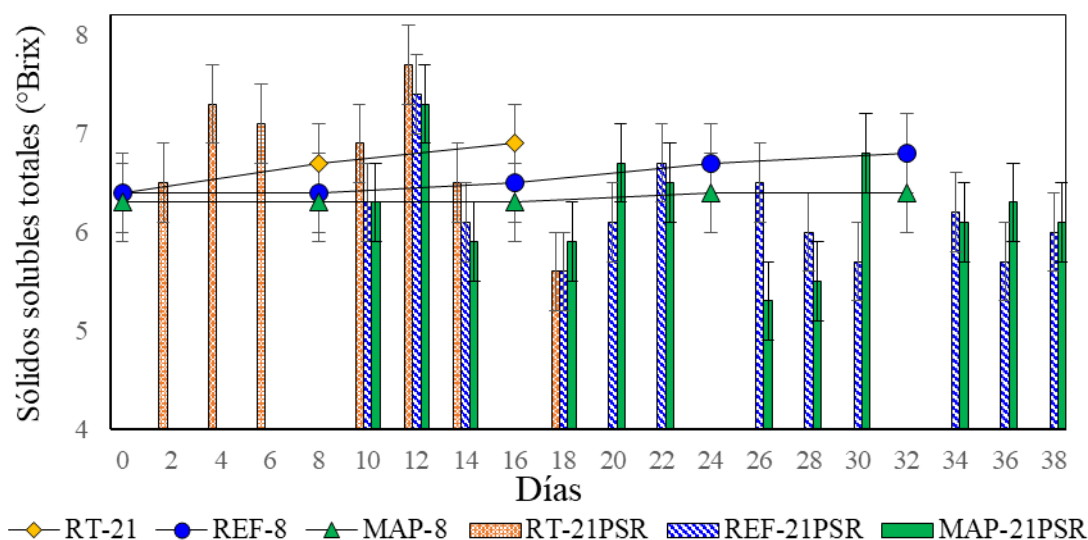


Figura 5. Sólidos solubles totales del aguacate “Hass” durante el almacenamiento a temperatura ambiente a 21 °C (RT-21), refrigeración a 8 °C (REF-8) y empaque en atmósfera modificada a 8 °C (MAP-8) durante 8, 16, 24 y 32 días y maduración post-almacenamiento (PSR) a 21 °C durante 2, 4 y 6 días. Las barras verticales representan DMS = 0.8 °Brix (Fisher, $p \leq 0.05$).

y de almacenamiento). El aumento de los sólidos solubles totales obtenido en este estudio se puede explicar porque durante la maduración, la hidrólisis del almidón genera ácidos orgánicos, pectinas solubles y azúcares simples; estos últimos constituyen la mayor parte de los sólidos solubles totales. Los sólidos solubles totales disminuyen cuando las reservas de almidón se agotan como resultado de la respiración.

CONCLUSIONES

El aguacate “Hass” almacenado a 8 °C en empaques de atmósfera modificada mostró una firmeza similar a la de los frutos frescos durante los 32 días de almacenamiento. En cambio, frutos almacenados a temperatura ambiente mostraron una marcada reducción de la firmeza desde los primeros días de almacenamiento. En refrigeración, los aguacates mostraron una considerable reducción de la firmeza durante los primeros ocho días de almacenamiento.

La refrigeración y las bolsas de atmósfera modificada a 8 °C mostraron un color más similar al del aguacate fresco; con menor diferencia total de color en el exocarpio y el mesocarpio, en comparación con frutos almacenados a temperatura ambiente. Al transferir los aguacates a atmósfera normal a 21 °C, después de empacados en bolsas de atmósfera modificada a 8 °C, la firmeza y el color externo de los frutos alcanzaron valores similares a los de refrigeración o temperatura ambiente, después de seis días de maduración post-almacenamiento. Entonces, el aguacate almacenado a 8 °C en bolsas de atmósfera modificada debe consumirse menos de seis días después de abrir el empaque.

El tipo de almacenamiento no tuvo efecto sobre el pH y los sólidos solubles totales durante el almacenamiento durante 8, 16, 24 y 32 días. Las variables de calidad evaluadas en el aguacate “Hass” durante el almacenamiento a 8 °C indicaron que el uso del empaque de atmósfera modificada AG Fresh® es una alternativa viable en la conservación de estos frutos. Estas condiciones de almacenamiento permiten alargar la vida útil del aguacate por un periodo dos veces mayor que a temperatura ambiente, debido a la conservación de la firmeza y a cambios menores en el color, propiedades que son referentes importantes para calidad.

REFERENCIAS

- AOAC. Official methods of analysis of AOAC International. 2012. AOAC International. Washington, DC. USA. 1500 p.
- Arana-Coronado JJ, Bijman J, Omta O, Oude-Lansink A. 2012. Inter-firm Coordination in the Mexican Avocado (*Persea americana*) Industry: The Packer–Buyer Relationship. *Agrociencia* 46: 189–203.
- Astudillo-Ordóñez CE, Rodríguez P. 2018. Parámetros fisicoquímicos del aguacate *Persea americana* Mill. cv. Hass (Lauraceae) producido en Antioquia (Colombia) para exportación. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria* 19: 383–392. https://doi.org/10.21930/rcta.vol19_num2_art:694
- Barriada-Bernal LG, Aquino-González L, Méndez-Lagunas LL, Rodríguez-Ramírez J, Sandoval-Torres S. 2018. Physical and nutritional characterization of yucca fruits (*Yucca mixteca*). *Agrociencia* 52: 347–359.
- Bill M, Sivakumar D, Thompson AK, Korsten L. 2014. Avocado fruit quality management during the postharvest supply chain. *Food Reviews International* 30: 169–202. <https://doi.org/10.1080/87559129.2014.907304>

- Defilippi BG, Ejsmentewicz T, Covarrubias MP, Gudenschwager O, Campos-Vargas R. 2018. Changes in cell wall pectins and their relation to postharvest mesocarp softening of "Hass" avocados (*Persea americana* Mill.). *Plant Physiology and Biochemistry* 128: 142–151. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2018.05.018>
- Espinosa-Cruz CC, Valle-Guadarrama S, Ybarra-Moncada M, Martínez-Damián MT. 2014. Comportamiento postcosecha de frutos de aguacate 'Hass' afectado por temperatura y atmósfera modificada con microperforado. *Revista Fitotecnia Mexicana* 37: 235–242.
- Espinosa-Moreno J, Centurión-Hidalgo D, Mayo-Mosqueda A, García-Correa C, Martínez-Morales A, García-Alamilla P, Lagunes-Gálvez LM. 2018. Flour quality of three banana cultivars (*Musa* spp.) resistant to black sigatoka disease in tabasco. *Agrociencia* 52: 217–229.
- FAO (Food and Agriculture Organization). 2019. FAOSTAT. FAO Database on food and agriculture. United Nations Food and Agriculture Organization. Rome, Italy. <https://www.fao.org/faostat/es/#home> (Recuperado: junio 2021).
- Franco-Gaytán I, Saucedo-Veloz C, Calderón-Zavala G, Cruz-Huerta N, Téliz-Ortiz D, Galicia-Cabrera RM. 2018. Quality and shelf life of three strawberry (*Fragaria ananassa*) cultivars treated with high concentrations of CO₂ for short period. *Agrociencia* 52: 393–406.
- Magallanes-López AM, Martínez-Damián MT, Sahagún-Castellanos J, Pérez-Flores LJ, Marín-Montes IM, Rodríguez-Pérez JE. 2020. Post-harvest quality of 40 collections of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) native of Mexico. *Agrociencia* 54: 779–795. <https://doi.org/10.47163/agrociencia.v54i6.2184>
- Marquez CJ, Yepes D, Sánchez L, Osorio JA. 2014. Cambios físico-químicos del aguacate (*Persea americana* Mill. cv. "Hass") en poscosecha para dos municipios de Antioquia. *Temas Agrarios* 19: 34–49.
- Nakhasi S, Schlimme D, Solomos T. 1991. Storage potential of tomatoes harvested at the breaker stage using modified atmosphere packaging. *Journal of Food Science* 56 (1): 55–59.
- Pech JC, Purgatto E, Bouzayen M, Latché A. 2018. Ethylene and Fruit Ripening. *In* Annual Plant Reviews online, Roberts, JA (Ed.). John Wiley and Sons: Hoboken, NJ, USA. pp. 275–304. <https://doi.org/10.1002/9781119312994.apr0483>
- Russo VC, Daiuto ER, Vietes RL, Smith RE. 2014. Postharvest parameters of the "Fuerte" avocado when refrigerated in different modified atmospheres. *Journal of Food Processing and Preservation* 38: 2006–2013. <https://doi.org/10.1111/jfpp.12177>
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2020. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. Ciudad de México, México. https://nube.siap.gob.mx/avance_agricola (Recuperado: junio 2021).
- Terán-Erazo B, Alia-Tejagal I, Balois-Morales R, Juárez-López P, López-Guzmán GG, Pérez-Arias GA, Núñez-Colín CA. 2019. Physical, chemical, and morphological fruit characterization of soursoup (*Annona muricata* L.). *Agrociencia* 53: 1013–1027.
- Torres R, Montes EJ, Pérez OA, Andrade RD. 2013. Relación del color y del estado de madurez con las propiedades fisicoquímicas de frutas tropicales. *Información Tecnológica* 24 (3): 51–56. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642013000300007>
- Uscanga-Sosa DP, Pérez-Gago MB, Hernández-Cázares AS, Herrera-Corredor JA, Gómez-Merino FC, Contreras-Oliva AJA. 2019. Effect of antioxidants and pH on the quality and polyphenol oxidase activity of minimally processed eggplant (*Solanum melongena* L.). *Agrociencia* 53: 175–189.
- Valle-Guadarrama S, Morales-Cabrera M, Peña-Valdivia CB, Mora-Rodríguez B, Alia-Tejagal I, Corrales-García J, Gómez-Cruz A. 2013. Oxidative/fermentative behavior in the flesh of "Hass" avocado fruits under natural and controlled atmosphere conditions. *Food and Bioprocess Technology* 6: 272–282. <https://doi.org/10.1007/s11947-011-0747-8>
- Vázquez-López Y, Caro-Corrales J, Gaxiola-Camacho S, Iribe-Salazar R, Carrasco-Escalante M, Portillo-Loera J, Rodríguez-Gaxiola M. 2020. Permeability estimation of modified atmosphere package for "Hass" avocado storage. *Agrociencia* 54: 471–490. <https://doi.org/10.47163/agrociencia.v54i4.2045>
- Zapata JE, Restrepo-Suárez AM, Arias L. 2016. Cinética de la deshidratación osmótica del aguacate (*Persea americana*), y optimización del color por medio de superficies de respuesta. *Información Tecnológica* 27: 17–32. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642016000400003>

