

## Influencia del clima y rugosidad sobre la tolerancia a refrigeración del aguacate ‘Hass’\*

## Influence of climate and roughness on the tolerance to refrigeration of avocado ‘Hass’

Jorge A. Osuna García<sup>1§</sup>, Yolanda Nolasco González<sup>1</sup>, Juan Antonio Herrera González<sup>2</sup>, Salvador Horacio Guzmán Maldonado<sup>3</sup> y Arturo Álvarez Bravo<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias-CE Santiago Ixcuintla. Entronque Carretera Internacional México-Nogales km 6, Santiago Ixcuintla, Nayarit. México. CP. 63300. Tel. 55 38718700, ext. 84415. (nolasco.yolanda@inifap.gob.mx; alvarez.arturo@inifap.gob.mx). <sup>2</sup>Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias-CE Uruapan. Avenida Latinoamericana 1101, Uruapan, Michoacán, México. CP. 60150. Tel. 55 38718700, ext. 84202. herrera.juanantonio@inifap.gob.mx. <sup>3</sup>Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias-CE Bajío. Carretera Celaya-San Miguel de Allende, Celaya Guanajuato, México. CP. 38110. Tel. 55 38718700, ext. 85233. (guzman.horacio@inifap.gob.mx). <sup>§</sup>Autor para correspondencia: osuna.jorgealberto@inifap.gob.mx.

### Resumen

Según la zona de producción en México, el fruto de aguacate ‘Hass’ presenta diversos grados de rugosidad en la cáscara, lo cual pudiera afectar calidad y tolerancia a la refrigeración. Los objetivos fueron cuantificar la influencia del clima y el grado de rugosidad de cáscara sobre la tolerancia a refrigeración y calidad poscosecha de frutos de ‘Hass’. La investigación se realizó durante 2015-2017 en tres huertos ubicados en Jalisco, Michoacán y Nayarit. En cada región se seleccionaron 15 árboles y en cada uno se marcaron 20 panículas, para cosechar un fruto/panícula con madurez  $\geq 21.5\%$  de Materia Seca (MS). Se evaluaron tres temperaturas de refrigeración (4, 6 y 8 °C) por tres y cuatro semanas de simulación de traslado y un testigo. El efecto de clima y grado de rugosidad no incidieron en la tolerancia a refrigeración, aunque el grado de rugosidad afectó pérdida de peso. El factor de mayor impacto fueron la temperatura y el tiempo de almacenamiento. A mayor temperatura, mayor pérdida de peso y vire de color; a menor temperatura, mayor daño externo. A 4 °C el fruto mostró mayor vida de anaquel con firmeza elevada y sin vire de color, pero con daño externo.

### Abstract

According to the production area in Mexico, avocado ‘Hass’ fruit presents varying degrees of roughness in the shell, which could affect quality and tolerance to refrigeration. The objectives were to quantify the influence of the climate and the degree of hull roughness on the tolerance to refrigeration and post harvest quality of ‘Hass’ fruits. The research was carried out during 2015-2017 in three orchards located in Jalisco, Michoacán and Nayarit. In each region, 15 trees were selected and 20 panicles were marked to harvest a fruit/panicle with maturity  $\geq 21.5\%$  of Dry Matter (MS). Three refrigeration temperatures (4, 6 and 8 °C) were evaluated for three and four weeks of transport simulation and one control. The effect of climate and degree of roughness did not affect refrigeration tolerance, although the degree of roughness affected weight loss. The factor of greatest impact were the temperature and storage time. At higher temperature, greater weight loss and turn color; at lower temperature, greater external damage. At 4 °C the fruit showed longer shelf life with high firmness and no color change, but with external damage. The best storage temperature was 6 °C, as

\*Recibido: mayo de 2017  
Aceptado: agosto de 2017

La mejor temperatura de almacenamiento fue 6 °C, ya que mantuvo color y firmeza a niveles aceptables, sin daño externo y con cinco días de vida de anaquel después del almacenamiento. La temperatura de 8 °C escasamente alcanzó para tres semanas de simulación de traslado e insuficiente para mercados de cuatro semanas.

**Palabras clave:** *Persea americana* Mill., calidad poscosecha, daño por frío, temperatura, vida de anaquel.

## Introducción

México es el mayor productor de aguacate en el mundo, con un volumen cercano a un 1 500 000 t anuales lo que contribuyó con 28.5% a la producción mundial (FAOSTAT, 2013). La mayor superficie establecida con este cultivo se localiza en la región occidente del país, en los estados de Michoacán (122 252 ha), Jalisco (13,434 ha) y Nayarit (5 294 ha). Estos tres estados concentran 84% de la producción nacional cuyo valor de la producción supera los 16 500 millones de pesos (SIAP, 2014). La piel o cáscara del fruto es un factor que afecta la apariencia y comerciabilidad del mismo, especialmente para su consumo en fresco (Khalid *et al.*, 2012).

Una característica genética del aguacate ‘Hass’ es que su piel es rugosa (Hass, 1935). En México, se presume que la rugosidad de la piel, así como algunas otras características físicas y químicas de la pulpa varían entre las regiones productoras, argumentos que son empleados por los intermediarios y comerciantes para establecer diferencias en el precio del fruto. Sin embargo, se carece de un sustento científico de que la rugosidad de la piel defina la calidad del fruto y justifique las diferencias de precio, así como si esta característica confiera diferencias en el grado de tolerancia a la refrigeración.

El aguacate es un fruto climatérico con una alta tasa de respiración (80 a 300 mg CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> a 20 °C) y alta producción de etileno (>100 µl kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> a 20 °C) que lo hace ser muy perecedero (Kader y Arpaia, 2013), dificultando su conservación y comercialización a mercados distantes. Una de las técnicas más comunes para prolongar vida de anaquel y mantener calidad del fruto de aguacate es el uso de refrigeración. El principio para usar refrigeración es que ésta disminuye la velocidad de los procesos fisiológicos que conllevan a la maduración del fruto. Bajo condiciones

it maintained color and firmness at acceptable levels, with no external damage and five days shelf life after storage. The temperature of 8 °C barely reached for three weeks of simulation of transfer and insufficient for markets of four weeks.

**Keywords:** *Persea americana* Mill., cold damage, post-harvest quality, shelf life, temperature.

## Introduction

Mexico is the largest producer of avocado in the world, with a volume close to 1 500 000 t annual which contributed with 28.5% to the world production (FAOSTAT, 2013). The largest area established with this crop is located in the western region of the country, in the states of Michoacan (122 252 ha), Jalisco (13 434 ha) and Nayarit (5 294 ha). These three states concentrate 84% of the national production whose production value exceeds 16.5 billion pesos (SIAP, 2014). The skin or peel of the fruit is a factor that affects the appearance and marketability of the fruit, especially for fresh consumption (Khalid *et al.*, 2012).

A genetic characteristic of avocado ‘Hass’ is that its skin is rough (Hass, 1935). In Mexico, it is assumed that the roughness of the skin, as well as some other physical and chemical characteristics of the pulp vary between producing regions, arguments that are used by the intermediaries and traders to establish differences in the price of the fruit. However, there is no scientific basis for the skin’s roughness to define the quality of the fruit and justify price differences, as well as if this characteristic confers differences in the degree of tolerance to refrigeration.

Avocado is a climacteric fruit with a high respiration rate (80 to 300 mg CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> to 20 °C) and high production of ethylene (>100 µl kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> to 20 °C) which makes it very perishable (Kader and Arpaia, 2013), hindering its conservation and marketing to distant markets. One of the most common techniques for prolonging shelf life and maintaining avocado fruit quality is the use of refrigeration. The principle to use refrigeration is that it slows down the physiological processes that lead to the ripening of the fruit. Under traditional management conditions, avocados can be stored for three to four weeks while maintaining quality at an acceptable level. However, the fruit is susceptible

tradicionales de manejo, el aguacate puede ser almacenado por tres a cuatro semanas manteniendo la calidad a un nivel aceptable. Sin embargo, el fruto es susceptible a daño por frío (DF) cuando se almacena por tiempos prolongados a temperaturas inferiores a 5 °C. El daño por frío se manifiesta de manera externa e interna.

Los daños externos se presentan como picado, escaldado y presencia de manchas negras irregulares en la cáscara. El daño más severo se manifiesta de manera interna con obscurecimiento de la pulpa (pulpa grisácea, pulpa manchada, pardeamiento de los haces vasculares), desarrollo de color translúcido, sabor y olor anormal (Yahia, 2001; Arpaia, 2005). El DF en frutos de aguacate está influenciado por diversos factores tales como las condiciones de crecimiento. López y Cajuste-Bomtemps (1999) reportan que el DF observado después de 28 días de refrigeración a  $5 \pm 1$  °C fue mayor en frutos de floración normal cosechados a altitudes de 1 700 y 2 100 msnm en comparación a los cosechados a 1 400 msnm. Además, el grado de madurez, la procedencia, época de cosecha, tamaño del fruto, así como la temperatura y tiempo de almacenamiento son también aspectos claves en el DF (Pantástico *et al.*, 1979; Nieto *et al.*, 2007).

Los objetivos del presente trabajo fueron cuantificar la influencia del tipo de clima de la región productora y el grado de rugosidad de cáscara sobre la tolerancia a refrigeración y calidad postcosecha de frutos de aguacate 'Hass'.

## Materiales y métodos

La investigación se realizó durante los ciclos 2015-2016 y 2016-2017 en tres huertos comerciales de 'Hass' en los estados de Jalisco, Michoacán y Nayarit, que presentan diferentes características altitudinales y ambientales. La región de clima frío se ubicó en el huerto Paso de Carretas, en el municipio de Gómez Farías, Jalisco, que tiene clima templado subhúmedo [ $C(w^1)$ ] y altitud de 2 160 m.

La región con clima intermedio se localizó en el huerto El Parejo, ubicado en Matangarán, Municipio de Uruapan, Michoacán, con clima semicálido subhúmedo [ $(A)C(w^1)$ ] y altitud de 1 580 msnm. La región de clima caliente se ubicó en El Rodeo, Municipio de Tepic, Nayarit, con clima cálido subhúmedo ( $Aw^2$ ) y altitud de 1 140 msnm. En cada

to cold damage (DF) when stored for prolonged periods at temperatures below 5 °C. Cold damage is manifested externally and internally.

The external damages are presented as chopping, scalding and presence of irregular black spots on the shell. The most severe damage is manifested internally with darkening of the pulp (grayish pulp, stained pulp, browning of vascular bundles), development of translucent color, abnormal taste and smell (Yahia, 2001; Arpaia, 2005). DF in avocado fruits is influenced by various factors such as growth conditions. Lopez and Cajuste-Bomtemps (1999) report that DF observed after 28 days of refrigeration at  $5 \pm 1$  °C was higher in normal flowering fruits harvested at altitudes of 1 700 and 2 100 meters above sea level compared to those harvested at 1 400 meters above sea level. In addition, the degree of maturity, origin, harvesting time, fruit size, as well as temperature and storage time are also key aspects in DF (Pantastico *et al.*, 1979; Nieto *et al.*, 2007).

The objectives of this work were to quantify the influence of the type of climate of the producing region and the degree of hull roughness on the tolerance to refrigeration and post harvest quality of avocado 'Hass' fruits.

## Materials and methods

The research was conducted during the cycles 2015-2016 and 2016-2017 in three commercial Hass' orchards in the states of Jalisco, Michoacán and Nayarit, which present different altitudinal and environmental characteristics. The cold climate region was located in the Paso of Carretas orchard, in the municipality of Gómez Farías, Jalisco, which has subhumid temperate climate [ $C(w^1)$ ] and altitude of 2 160 m.

The region with intermediate climate was located in the orchard El Parejo, located in Matangaran, Municipality of Uruapan, Michoacán, with subhumid climate [ $(A)C(w^1)$ ] and altitude of 1 580 meters above sea level. The hot climate region was located in El Rodeo, Municipality of Tepic, Nayarit, with warm subhumid climate ( $Aw^2$ ) and altitude of 1 140 meters above sea level. In each producing region, 15 trees of similar size were selected, each of them 20 panicles of the same flowering flow and were followed to harvest at least one fruit/panicle (for a total of 300) in one state of legal maturity of at least 21.5% of MS. The fruits were

región productora se seleccionaron 15 árboles con porte similar, en cada uno de ellos se marcaron 20 panículas de un mismo flujo de floración y se les dio seguimiento para cosechar al menos un fruto/panícula (para un total de 300) en un estado de madurez legal de al menos 21.5% de MS. Los frutos se trasladaron a las instalaciones del Laboratorio poscosecha del CE Santiago Ixcuintla donde se seleccionaron aquellos que mostraron madurez fisiológica, con excelente apariencia externa, libre de daños mecánicos y de plagas y enfermedades; éstos se sometieron a los siguientes tratamientos producto de la combinación de temperaturas y semanas de almacenamiento: a) 4 °C por tres semanas; b) 4 °C por cuatro semanas; c) 6 °C por tres semanas; d) 6 °C por cuatro semanas; e) 8 °C por tres semanas; f) 8 °C por cuatro semanas y g) Testigo bajo simulación de mercadeo ( $22 \pm 2$ ).

Los frutos con refrigeración se almacenaron a las temperaturas y tiempos especificados, para posteriormente exponerlos a simulación de mercadeo hasta madurez de consumo. Las temperaturas de 4 y 6 °C se realizaron en refrigeradores comerciales y la de 8 °C en cuarto frío. La simulación de mercadeo se realizó a  $22 \pm 2$  °C;  $70 \pm 10\%$  HR. Los muestreos se realizaron al inicio del experimento, al final del periodo refrigerado y en madurez de consumo.

Las variables evaluadas fueron las siguientes:

#### **Materia seca**

Mediante horno de microondas acorde a Lee and Coggins (1982). Se obtuvieron 10 g de pulpa cortando longitudinalmente tiras delgadas del fruto con un pelador de papas casero, las tiras se colocaron en cajas Petri y se deshidrataron en horno de microondas por 6 a 10 min hasta obtener peso constante. El porcentaje de materia seca se calculó con la siguiente fórmula:  $(\text{peso fresco} - \text{peso seco} / \text{peso fresco}) \times 100$ .

#### **Pérdida de peso**

Mediante báscula portátil digital con capacidad de 2 000 g y aproximación de 0.1 g (Ohaus corp Florham Park, NJ). Se marcaron 20 frutos por tratamiento, mismos que se pesaron periódicamente durante toda la etapa de evaluación. La diferencia en peso y su relación con el peso inicial se expresó como pérdida de peso en porcentaje.

transferred to the facilities of the Post-Harvest Laboratory of the Santiago Ixcuintla of CE where those that showed physiological maturity were selected, with excellent external appearance, free of mechanical damages and of pests and diseases; these were subjected to the following treatments product of the combination of temperatures and weeks of storage: a) 4 °C for three weeks; b) 4 °C for four weeks; c) 6 °C for three weeks; d) 6 °C for four weeks; e) 8 °C for three weeks; f) 8 °C for four weeks and g) witness under market simulation ( $22 \pm 2$ ).

The fruits with refrigeration were stored at the specified temperatures and times, and then exposed to market simulation until consumption maturity. Temperatures of 4 and 6 °C were carried out in commercial refrigerators and 8 °C in cold rooms. The marketing simulation was performed at  $22 \pm 2$  °C;  $70 \pm 10\%$  HR. Sampling was carried out at the beginning of the experiment, at the end of the refrigerated period and at maturity of consumption.

The variables evaluated were as follows:

#### **Dry material**

Using a microwave oven according to Lee and Coggins (1982). The 10 g of pulp were obtained by longitudinally cutting thin strips of the fruit with a homemade potato peeler, the strips were placed in Petri dishes and dehydrated in a microwave oven for 6 to 10 min until constant weight was obtained. The percentage of dry matter was calculated with the following formula:  $(\text{fresh weight} - \text{dry weight} / \text{fresh weight}) \times 100$ .

#### **Weightloss**

By portable digital scale with capacity of 2 000 g and approximation of 0.1 g (Ohaus corp Florham Park, NJ). Twenty fruits were scored per treatment, which were weighed periodically throughout the evaluation stage. The difference in weight and its relation to the initial weight was expressed as percentage weight loss.

#### **Turn color of shell**

It was quantified as the percentage of fruits that turned in the color of their shell from green to black (at least 75% of the shell tonality).

## Vire de color de cáscara

Se cuantificó como el porcentaje de frutos que viraron en el color de su cáscara de verde a negro (al menos 75% de la tonalidad de la cáscara).

## Firmeza

Se determinó con un penetrómetro Chatillón Modelo DFE-050 (Ametek Instruments, Largo, FL), adaptado con punzón cilíndrico de 10 mm de diámetro; las medidas se tomaron en la región ecuatorial del fruto entero. Una sección de 5 mm de la cáscara se removió para exponer la pulpa y el punzón se insertó a 4 mm de profundidad a una velocidad de 180 mm min<sup>-1</sup>. Los datos se expresaron en Newtons (N).

Daño por frío con base a escala hedónica (Corrales y Tlapa-Rangel, 1999).

Externo: 1= sin daño; 2= 1 a 25% de superficie dañada; 3= 26 a 50% de superficie dañada; 4= 51 a 75% de superficie dañada y 5 > 76% de superficie dañada con respecto al área total del fruto.

Interno: 1= sin daño; 2= daño ligero (< 25% de pulpa dañada); 3= moderado (26 a 50% de pulpa dañada); 4= severo (51 a 75% de pulpa dañada) y 5= muy severo (>76% de pulpa dañada).

Los datos se analizaron completamente al azar con arreglo factorial 2x3x7 con los siguientes factores: A. Ciclo de producción: 2015 y 2016; B. Región productora: Nayarit, Michoacán y Jalisco. C. Tratamientos (7): combinación de temperaturas y semanas de almacenamiento. Para la variable de pérdida de peso se utilizaron 20 repeticiones (frutos), en tanto que para el resto de variables se usaron ocho repeticiones. Se realizó análisis de varianza y prueba de medias (Waller-Duncan  $p \leq 0.05$ ) con el paquete estadístico SAS (SAS, 2002).

## Resultados y discusión

### Pérdida de peso

La pérdida de peso por efecto de los factores bajo estudio se ilustra en la Figura 1. En lo que respecta al efecto de ciclo (Figura 1A), se observó que los frutos cosechados en 2015

## Firmness

It was determined with a Chatillon Model DFE-050 penetrometer (Ametek Instruments, Largo, FL), adapted with a 10 mm diameter cylindrical punch; the measurements were taken in the equatorial region of the whole fruit. A 5 mm section of the shell was removed to expose the pulp and the punch was inserted at 4 mm depth at a speed of 180 mm min<sup>-1</sup>. Data were expressed in Newtons (N).

Cold damage based on hedonic scale (Corrales and Tlapa-Rangel, 1999).

External: 1= no damage; 2= 1 to 25% of damaged surface; 3= 26 to 50% of damaged surface; 4= 51 to 75% of damaged surface and 5 > 76% of damaged surface with respect to the total area of the fruit.

Internal: 1= no damage; 2= light damage (<25% of damaged pulp); 3= moderate (26 to 50% of damaged pulp); 4= severe (51 to 75% of damaged pulp) and 5= very severe (> 76% of damaged pulp).

The data were analyzed completely randomly with 2x3x7 factorial arrangement with the following factors: A. Production cycle: 2015 and 2016; B. Production region: Nayarit, Michoacan and Jalisco. C. Treatments (7): combination of temperatures and weeks of storage. For the weight loss variable, 20 repetitions were used (fruits), while for the rest of variables eight repetitions were used. Analysis of variance and test of means (Waller-Duncan  $p \leq 0.0$ ) with SAS statistical package (SAS, 2002).

## Results and discussion

### Weight loss

The weight loss by effect of the factors under study is illustrated in Figure 1. Regarding the cycle effect (Figure 1A), it was observed that the fruits harvested in 2015 accumulated to maturity of consumption a greater loss (7.8%) that was statistically different from those harvested in 2016 (6.5%). This can be correlated with MS content, since fruits with higher MS content (2015= 27.8%) have higher metabolic activity than fruits with lower MS (2016= 26.3%) [Erikson *et al.*, 1971]. Regarding the effect by state or region (Figure 1B), the accumulated weight loss was

acumularon a madurez de consumo una pérdida mayor (7.8%) que fue estadísticamente diferente de los cosechados en 2016 (6.5%). Lo anterior puede estar correlacionado con el contenido de MS, ya que frutos con mayor contenido de MS (2015=27.8%) tienen mayor actividad metabólica que frutos con menor MS (2016=26.3%) [Erikson *et al.*, 1971]. En lo concerniente al efecto por estado o región (Figura 1B), la pérdida de peso acumulada fue mayor en los frutos cosechados en Nayarit y Jalisco (7.6% para ambos) y fue estadísticamente diferente de la de los frutos de Michoacán (6.3%), lo cual pudiera estar correlacionado con el grado de rugosidad de la cáscara.

Los frutos de Nayarit mostraron la mayor rugosidad, los de Jalisco intermedia y los de Michoacán fueron los más lisos. Sin embargo, no se encontraron referencias respecto al efecto de rugosidad sobre la pérdida de peso. El factor con mayor impacto sobre esta variable fueron las temperaturas y el tiempo de almacenamiento (Figura 1C). Los frutos almacenados a 4 °C por tres semanas, al término de refrigeración, mostraron una pérdida de solo 1.8%, en tanto que los de 6 y 8 °C tuvieron una pérdida de peso de 2.4%, mientras que los frutos testigo almacenados bajo simulación de mercadeo (22 ± 2 °C; 70 ± 10% HR) manifestaron 5.6%.

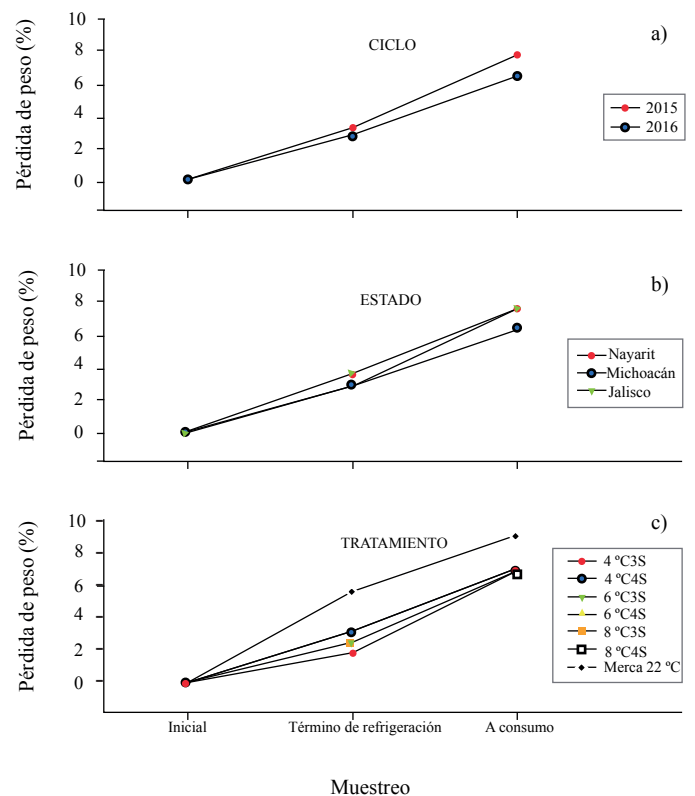
Por lo que concierne a la pérdida de peso de los frutos almacenados por cuatro semanas, ya no se detectaron diferencias significativas entre 4, 6 y 8 °C, mostrando pérdidas de 3 a 3.2%. Por otro lado, a madurez de consumo se observó una diferencia muy marcada entre cualquiera de los tratamientos en refrigeración versus aquellos mantenidos bajo simulación de mercadeo. Los frutos bajo refrigeración presentaron pérdidas acumuladas de 6.6 a 7%, en tanto que los testigo alcanzaron 9.9%. Lo anterior, muy probablemente sea debido a que a mayor temperatura, mayor velocidad de respiración y producción de etileno (Morris, 1982).

### Vire de color de cáscara

El cambio de color de cáscara y el ablandamiento de los frutos son las características más visibles en el proceso de maduración del aguacate 'Hass'. El cambio de color de cáscara de verde a negro se debe a una disminución del contenido de clorofila seguido de un incremento en antocianinas (Cox *et al.*, 2004). En el Cuadro 1 al término de refrigeración y a madurez de consumo, se observa que los frutos cosechados en 2015 tuvieron mayor porcentaje de frutos con vire de color, lo cual como ya se comentó anteriormente puede estar correlacionado con el mayor

higher in the fruits harvested in Nayarit and Jalisco (7.6% for both) and was statistically different from the fruits of Michoacán (6.3%), which may be correlated with the degree of roughness of the shell.

The fruits of Nayarit showed the greatest roughness, those of Jalisco intermedia and those of Michoacán were the smoothest. However, no references were found regarding the roughness effect on weight loss. The factors with the greatest impact on this variable were the temperatures and storage time (Figure 1C). Fruits stored at 4 °C for three weeks at the end of refrigeration showed a loss of only 1.8%, while those at 6 and 8 °C had a weight loss of 2.4%, whereas the control fruits stored under marketing simulation (22 ± 2 °C; 70 ± 10% HR) showed 5.6%.



**Figura 1. Pérdida de peso (%) de frutos de aguacate 'Hass' sometidos a diferentes temperaturas y tiempos de simulación de traslado durante dos ciclos en tres localidades.** Cada punto representa la media de 20 observaciones ± el error estándar.

**Figure 1. Weight loss (%) of avocado 'Hass' fruits subjected to different temperatures and transfer simulation times during two cycles in three locations.** Each point represents the mean of 20 observations ± the standard error.

contenido de MS (27.8%) en comparación a 2016 (26.3%) y que probablemente se deba a que los primeros tienen mayor actividad metabólica precisamente por ese mayor contenido de MS (Erikson *et al.*, 1971).

Con relación al efecto de la localidad o región, se observó que los frutos de Jalisco mostraron el mayor porcentaje de vire de color al término de refrigeración o a consumo, lo que probablemente pudiera deberse a las diferentes condiciones de crecimiento (López y Cajuste-Bomtemps, 1999). Los mercados distantes como Europa y Japón requieren que el fruto de aguacate 'Hass' llegue de color verde, pero listo para la venta (color oscuro) a los cuatro o cinco días de su llegada. Fue notorio que las temperaturas de 4 y 6 °C por tres o cuatro semanas y las de 8 °C por tres semanas mantuvieran dicha condición.

**Cuadro 1. Vire de color de cáscara (%) de frutos de aguacate 'Hass' sometidos a diferentes temperaturas y tiempos de simulación de traslado durante dos ciclos en tres localidades. INIFAP, 2017**

**Table 1. Turn the shell color (%) of avocado 'Hass' fruits subjected to different temperatures and transfer simulation times during two cycles in three locations. INIFAP, 2017.**

Factor	Inicial	Etapas de muestreo al término refrigeración	A consumo
		Ciclo	
2015	0 a	5.9 a	100 a
2016	0 a	0.5 b	100 a
		Localidad	
Nayarit	0 a	0.4 a	100 a
Michoacán	0 a	0.4 a	100 a
Jalisco	0 a	0.4 a	100 a
		Tratamiento	
a) 4 °C 3S	0 a	0.4 b	100 a
b) 4 °C 4S	0 a	0.4 b	100 a
c) 6 °C 3S	0 a	0.4 b	100 a
d) 6 °C 4S	0 a	0.4 b	100 a
e) 8 °C 3S	0 a	0.4 b	100 a
f) 8 °C 4S	0 a	0.4 b	100 a
g) Mercadeo	0 a	0.4 b	100 a

Medias con la misma literal dentro de columnas y factor son estadísticamente iguales (Waller-Duncan  $p \leq 0.05$ ).

Sin embargo, la temperatura de 8 °C ya no fue capaz de mantener verdes a la totalidad de los frutos a las cuatro semanas de almacenamiento ya que mostró 10% de frutos que

Regarding the weight loss of the fruits stored for four weeks, no significant differences between 4, 6 and 8 °C were detected, showing losses of 3 to 3.2%. On the other hand, at maturity of consumption a very marked difference was observed between any of the treatments in refrigeration versus those maintained under market simulation. The fruits under refrigeration presented accumulated losses of 6.6 to 7%, whereas the cores reached 9.9%. This is most likely due to higher temperature, higher respiration rate, and ethylene production (Morris, 1982).

### Turn of shell color

The change of shell color and the softening of the fruits are the most visible characteristics in the ripening process of avocado 'Hass'. The green-to-black peel color change is due to a decrease in chlorophyll content followed by an increase in anthocyanins (Cox *et al.*, 2004). Table 1 shows that fruit harvested in 2015 had a higher percentage of fruits with a color reversal, which, as already mentioned, may be correlated with the higher MS content (27.8%) compared to 2016 (26.3%) and probably due to the fact that the former have higher metabolic activity due to the higher MS content (Erikson *et al.*, 1971).

In relation to the effect of the locality or region, it was observed that Jalisco fruits showed the highest percentage of color turn at the end of refrigeration or consumption, which probably could be due to the different growth conditions (López and Cajuste-Bomtemps, 1999). Distant markets such as Europe and Japan require that the avocado 'Hass' fruit arrive green, but ready for sale (dark color) within four to five days of arrival. It was notorious that temperatures of 4 and 6 °C for three or four weeks and those of 8 °C for three weeks maintained that condition.

However, the temperature of 8 °C was no longer able to keep all the fruits green at four weeks of storage since it showed 10% of fruits that turned color, which were statistically equal to the control under simulation of marketing. It is indisputable that at higher temperatures, greater color change, which may be correlated with higher respiration rate and ethylene production (Morris, 1982).

### Firmness of pulp

Softening is the most characteristic feature of the avocado 'Hass' fruit maturation process and together with the shell color turn is considered a benchmark to evaluate potential

viraron de color, mismos que fueron estadísticamente iguales al testigo bajo simulación de mercadeo. Es indiscutible que a mayores temperaturas, mayor vire de color, lo cual puede estar correlacionado con la mayor velocidad de respiración y producción de etileno (Morris, 1982).

### Firmeza de pulpa

El ablandamiento es el rasgo más característico del proceso de maduración de frutos de aguacate 'Hass' y junto con el vire de color de cáscara se consideran un criterio de referencia para evaluar la vida poscosecha potencial (Ochoa *et al.*, 2009). Nuestros resultados muestran que la firmeza fue afectada por los tres factores en estudio, siendo la temperatura y el tiempo de almacenamiento los de mayor influencia (Figura 2). En lo que concierne al efecto de ciclo (Figura 2A), los frutos cosechados en 2015 al término de refrigeración mostraron mayor firmeza que los de 2016; sin embargo, esta diferencia no fue significativa a consumo.

Algo similar se observó en el efecto por estado o región (Figura 2B), donde al término de refrigeración los frutos de Nayarit mostraron mayor firmeza comparados con los de Michoacán o Jalisco, lo cual pudo deberse a que los frutos de Nayarit se procesaron el día de la cosecha, en tanto que los de Michoacán y Jalisco se procesaron 24 h después de la misma; sin embargo, ya no se manifestaron diferencias significativas a consumo. El factor de mayor impacto sobre la firmeza fueron la temperatura y tiempo de almacenamiento (Figura 2C). Al término de refrigeración las diferencias fueron muy marcadas, los frutos que se mantuvieron a menor temperatura (4 °C por tres o cuatro semanas y 6 °C por tres semanas) presentaron una firmeza elevada, aunque los que permanecieron en almacenamiento a 6 °C por cuatro semanas disminuyeron casi 50% de su firmeza inicial, no obstante, todavía dentro del rango comercial aceptable.

Recuérdese que los importadores exigen fruto que llegue verde y firme a mercados que requieren de tres a cuatro semanas de traslado. Los frutos almacenados a 4 °C cumplieron esta condición, pero causaron daños externo por frío, y se sugiere utilizar la temperatura de 6 °C, pues fue satisfactoria para tres semanas de almacenamiento y aunque disminuyó su efectividad por cuatro semanas, aun se mantuvo a niveles comercialmente aceptables, y sobre todo, no causó daño externo por frío. A consumo no se detectaron diferencias significativas entre tratamientos, aunque a 4 °C proporcionó hasta seis días de vida de anaquel después de tres o cuatro semanas de almacenamiento, en tanto que 6 °C indujo solo

post-harvest life (Ochoa *et al.*, 2009). Our results show that firmness was affected by the three factors under study, with temperature and storage time being the most influential (Figure 2). Regarding the cycle effect (Figure 2A), the fruits harvested in 2015 at the end of refrigeration showed more firmness than those of 2016; however, this difference was not significant to consumption.

Something similar was observed in the effect by state or region (Figure 2B), where at the end of refrigeration the fruits of Nayarit showed greater firmness compared to those of Michoacán or Jalisco, which could be due to the fruits of Nayarit were processed the day of the harvest, while those of Michoacán and Jalisco were processed 24 hours after the harvest; however, there were no significant differences in consumption. The factor of greatest impact on firmness were temperature and storage time (Figure 2C). At the end of refrigeration the differences were very marked, the fruits that were kept at a lower temperature (4 °C for three or four weeks and 6 °C for three weeks) presented a high firmness, although those that remained in storage at 6 °C for four weeks decreased almost 50% of their initial firmness, however, still within the acceptable commercial range.

Remember that importers demand fruit that arrives green and firm to markets that require three to four weeks of transportation. The fruits stored at 4 °C fulfilled this condition, but caused external cold damage, so it is suggested to use the temperature of 6 °C, as it was completely satisfactory for three weeks of storage and although its effectiveness decreased for four weeks, still remained at commercially acceptable levels, and above all, did not cause external cold damage. No significant differences were detected between treatments, although the temperature of 4 °C provided up to six shelf life days after three or four weeks of storage, while 6 °C induced only five days (within the range required by the importer) and 8 °C only four days of shelf after three weeks of storage and was insufficient for four weeks.

### External cold damage

The effect of climate and degree of shell roughness did not affect this variable since it was again observed that the factor with the most impact were temperature and storage time (Figure 3). The external cold damage could only be evaluated at the end of refrigeration because at maturity of consumption the damage was masked by the color turn of the shell from green to black. It was observed that as the temperature decreases and the storage time increases, the



cinco días (dentro del rango exigido por el importador) y 8 °C solo cuatro días de anaquel después de tres semanas de almacenamiento y fue insuficiente para cuatro semanas.

### Daño externo por frío

El efecto de clima y grado de rugosidad de cáscara no incidieron en esta variable ya que nuevamente se observó que el factor de más impacto fueron la temperatura y tiempo del almacenamiento (Figura 3). El daño externo por frío solo pudo ser evaluado al término de refrigeración ya que a madurez de consumo el daño fue enmascarado por el vire de color de la cáscara de verde a negro. Se pudo observar que conforme disminuye la temperatura y se incrementa el tiempo de almacenamiento, el daño externo por frío fue mayor (Figura 3C). El mayor daño lo presentaron los frutos almacenados a 4 °C por tres o cuatro semanas, seguidos de los frutos almacenados a 6 °C aunque mucho menor. Los frutos almacenados a 8 °C por tres o cuatro semanas y los testigos a 22 °C no mostraron daño externo por frío.

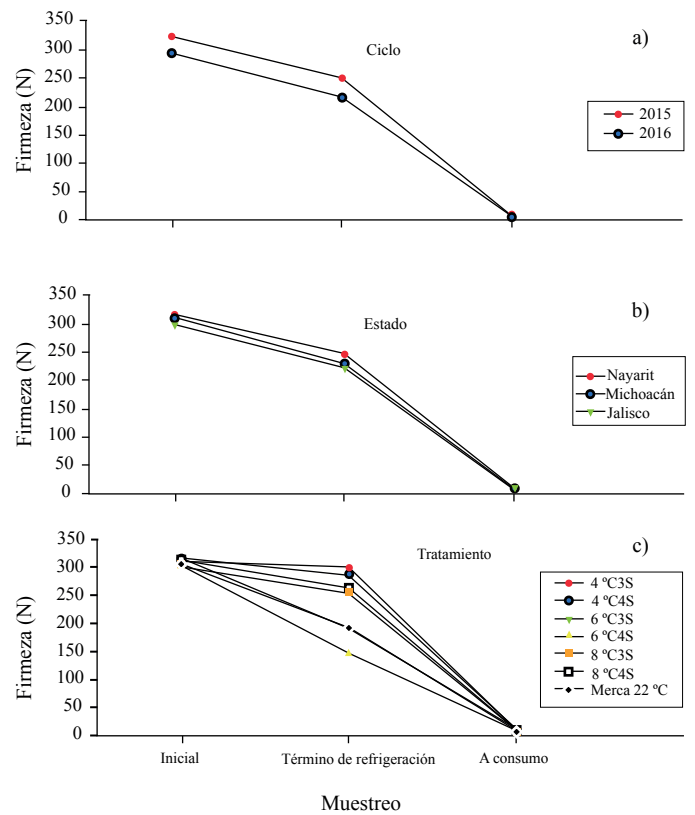
La literatura menciona que el daño por frío se produce por almacenar la fruta con temperaturas por debajo de los 6° C y sobre el punto de congelación, especialmente cuando se prolonga el tiempo de almacenaje en frío (Yahía, 2001; Arpaia, 2005). El daño se produce a nivel de la membrana celular afectando su integridad estructural. Se cree que las bajas temperaturas modifican la distribución de los lípidos en la membrana causando áreas gelificadas y otras fluidas, debido a que los ácidos grasos saturados tienden a solidificarse más fácilmente por efecto de las bajas temperaturas.

La enzima polifenoloxidasas es la responsable del pardeamiento al oxidar los fenoles en quinonas y melanina (Chaplin *et al.*, 1982; Lee y Young, 1984; Trejo *et al.*, 1992). Los resultados de esta investigación sugieren que la temperatura óptima de almacenamiento es 6 °C ya que aunque a cuatro semanas redujo firmeza, mantuvo el color verde de cáscara y proporcionó cinco días de vida de anaquel, con lo que se satisfacen las exigencias de los importadores

### Daño interno por frío

El daño por frío interno fue prácticamente inapreciable (Cuadro 2) y solo se manifestó ligeramente para frutos mantenidos a 4 °C por cuatro semanas de almacenamiento. Normalmente el daño interno por frío se manifiesta a temperaturas menores a 4 °C y por más de cuatro semanas de almacenamiento (Yahía, 2001; Arpaia, 2005).

external cold damage was greater (Figure 3C). The greatest damage was observed in fruits stored at 4 °C for three or four weeks, followed by fruits stored at 6 °C, although much lower. Fruits stored at 8 °C for three or four weeks and controls at 22 °C showed no external cold damage.



**Figura 2. Firmeza de pulpa (N) de frutos de aguacate 'Hass' sometidos a diferentes temperaturas y tiempos de simulación de traslado durante dos ciclos en tres localidades.** Cada punto representa la media de ocho observaciones  $\pm$  el error estándar.

**Figure 2. Pulp firmness (N) of avocado 'Hass' fruits subjected to different temperatures and transfer simulation times during two cycles in three locations.** Each point represents the mean of eight observations  $\pm$  the standard error.

The literature mentions that cold damage occurs by storing the fruit at temperatures below 6 °C and above the freezing point, especially when the cold storage time is prolonged (Yahía 2001, Arpaia 2005). The damage occurs at the level of the cell membrane affecting its structural integrity. It is believed that low temperatures modify the distribution of lipids in the membrane causing gelled and other fluid areas, because saturated fatty acids tend to solidify more easily because of the low temperatures.

**Cuadro 2. Daño interno de frutos de aguacate ‘Hass’ sometidos a diferentes temperaturas y tiempos de simulación de traslado durante dos ciclos en tres localidades. INIFAP, 2017.**

**Table 2. Internal damage\* of avocado ‘Hass’ fruits subjected to different temperatures and transfer simulation times during two cycles in three locations. INIFAP, 2017.**

Factor	Inicial	Etapa de muestreo al término refrigeración	A consumo
Ciclo			
2015	1 a	1 a	1.2 a
2016	1 a	1 a	1 a
Localidad			
Nayarit	1 a	1 a	1.1 a
Michoacán	1 a	1 a	1.1 a
Jalisco	1 a	1.1 a	1 a
Tratamiento			
1) 4 °C 3S	1 a	1 b	1 a
2) 4 °C 4S	1 a	1.2 a	1.1 a
3) 6 °C 3S	1 a	1 b	1 a
4) 6 °C 4S	1 a	1.1 b	1.1 a
5) 8 °C 3S	1 a	1 b	1.1 a
6) 8 °C 4S	1 a	1 b	1.2 a
7) Mercadeo	1 a	1 b	1.1 a

1= sin daño; 2= daño ligero (<25% de pulpa dañada); 3= moderado (26 a 50% de pulpa dañada); 4= severo (51 a 75% de pulpa dañada) y 5= muy severo (>76% de pulpa dañada). Medias con la misma literal dentro de columnas y factor son estadísticamente iguales (Waller-Duncan  $p \leq 0.05$ ).

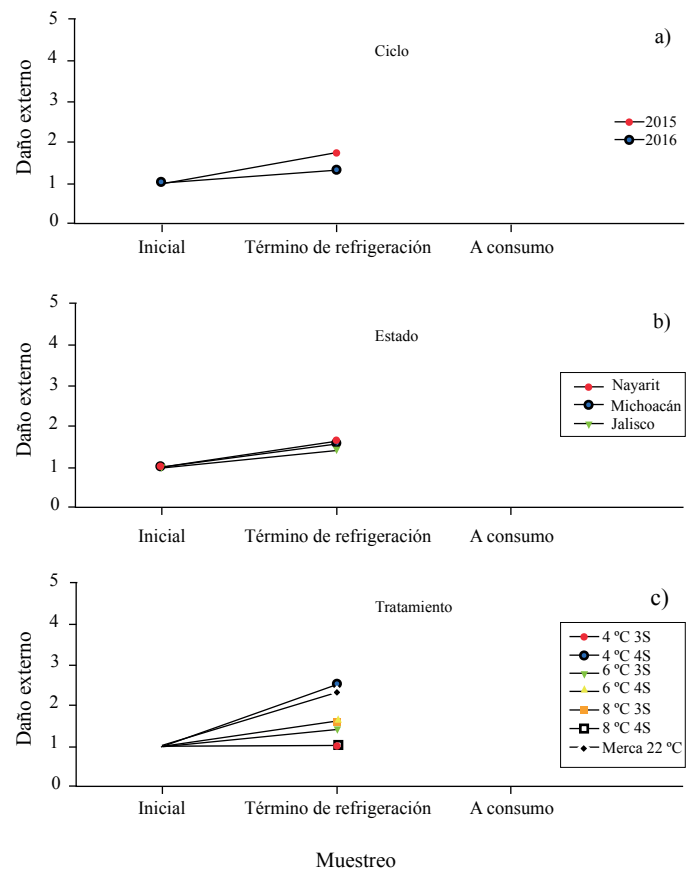
## Conclusiones

El efecto de clima y grado de rugosidad de cáscara no incidieron en la tolerancia a refrigeración de frutos de aguacate ‘Hass’, aunque el grado de rugosidad de cáscara incidió en pérdida de peso. El factor de mayor impacto fueron la temperatura y el tiempo de almacenamiento. A mayor temperatura, mayor pérdida de peso y vire de color; a menor temperatura, mayor daño externo en los frutos. A 4 °C el fruto mostró mayor vida de anaquel con firmeza elevada y sin vire de color, pero con daño externo. La mejor temperatura de almacenamiento fue la de 6 °C, ya que mantuvo color y firmeza a niveles aceptables, sin daño externo y con cinco días de vida de anaquel después del almacenamiento. La temperatura de 8 °C alcanzó para tres semanas de simulación de traslado e insuficiente para mercados de cuatro semanas.

The polyphenoloxidase enzyme is responsible for browning by oxidizing phenols in quinones and melanin (Chaplin *et al.*, 1982; Lee and Young, 1984; Trejo *et al.*, 1992). The results of this research suggest that the optimum storage temperature is 6 °C because although at four weeks reduced firmness, it maintained the green color of shell and provided five days of shelf life, thus meeting the requirements of importers.

## Internal cold damage

The internal cold damage was practically negligible (Table 2) and only manifested slightly for fruits kept at 4 °C for four weeks of storage. Internal cold damage usually occurs at temperatures below 4 °C and for more than four weeks of storage (Yahía, 2001; Arpaia, 2005).



**Figura 3. Daño externo de frutos de aguacate ‘Hass’ sometidos a diferentes temperaturas y tiempos de simulación de traslado durante dos ciclos en tres localidades. Cada punto representa la media de ocho observaciones ± el error estándar.**

**Figure 3. External damage of avocado ‘Hass’ fruit subjected to different temperatures and transfer simulation times during two cycles in three locations. Each point represents the mean of eight observations ± the standard error.**

## Agradecimientos

Ayudado con fondos fiscales del proyecto "Factores ambientales y fisiológicos asociados con el grado de rugosidad de la piel y calidad del fruto de aguacate 'Hass'. Núm. SIGI 2-1-6-116132972-A-A.1-1.

## Literatura citada

- Arpaia, M. L. 2005. Avocado postharvest quality - an overview. New Zealand and Australia Avocado Grower's Conference '05. 20-22 September 2005. Tauranga, New Zealand. Session 6. Postharvest quality, outturn. 8 p.
- Chaplin, G. R.; Wills, R. B. and Graham, P. 1982. Objective measurements of chilling injury in the mesocarp of stored avocados. *HortSci*. 17(2):238-239.
- Corrales, G. J. y Tlapa, R. C. C. 1999. Daños por frío y producción de etanol en aguacate (*Persea americana* Mill.) cv. Hass. *Rev. Chapingo Ser. Hortic*. 5:345-351.
- Cox, K. A.; McGhie T. K.; White, A. and Woolf, A. B. 2004. Skin colour and pigment changes during ripening of Hass avocado fruit. *Postharvest Biol. Technol*. 31:287-294.
- Erikson L. C.; Eaks, I. L. and Porter, G. G. 1971. Over maturity in Hass avocados. *California Avocado Society Yearbook*. 54:62-65.
- FAOSTAT. 2013. Food and Agriculture Organization Corporate Statistical Database (Food and agricultural commodities production. <http://faostat.fao.org>.
- Hass, R. G. 1935. Hass plant patent 139. US patent Office. CI 47-62 pp.
- Kader, A. A. and Arpaia, M. L. 2013. Aguacate (Palta): recomendaciones para mantener la calidad postcosecha. <http://postharvest.ucdavis.edu/frutasymelones/Aguacate.Palta/>.
- Khalid, S.; Malik, A. U.; Saleem, B. A.; Khan, A. S.; Khalid, M. S. and Amin, M. 2012. Tree age and canopy position affect rind quality, fruit quality and rind nutrient content of 'Kinnow' mandarin (*Citrus nobilis* Lour × *Citrus deliciosa* Tenora). *Sci. Hort*. 135 137-144.
- Lee, S. K. and Coggins, C. W. 1982. Dry weight method for determination of avocado fruit maturity. *California Avocado Society Yearbook* 66:67-70.
- López, L. L. y Cajuste-Bontemps, J. F. 1999. Comportamiento postcosecha de fruta de aguacate cv. Hass con base en la altitud de producción y tipo de floración. *Rev. Chapingo Ser. Hortic*. 5:365-371.
- Morris, L. L. 1982. Chilling injury of horticultural crops: an overview. *HortScience*. 17:161-162.

## Conclusions

The effect of climate and degree of hull roughness did not influence the refrigeration tolerance of avocado 'Hass' fruits, although the degree of hull rugosity affected weight loss. The factor of greatest impact were the temperature and storage time. At higher temperature, greater weight loss and turn color; at lower temperature, greater external damage in fruits. At 4 °C the fruit showed longer shelf life with high firmness and no color change, but with external damage. The best storage temperature was 6 °C, as it maintained color and firmness at acceptable levels, without external damage and with five days shelf life after storage. The temperature of 8 °C reached for three weeks of simulation of transfer and insufficient for markets of four weeks.

*End of the English version*



- Nieto, A. D.; Acosta-Ramos, M. y Téliz-Ortiz, D. 2007. El manejo postcosecha del aguacate. *In: el aguacate y su manejo integrado*. Téliz, D. y Mora, A. (Ed.). Ed. Mundiprensa, México, D. F. 211-219 pp.
- Ochoa, A. S.; Hertog, M. L. A. T. M. and Nicolai, B. M. 2009. Modelling the transient effect of 1-MCP on 'Hass' avocado softening: a Mexican comparative study. *Postharvest Biol. Technol*. 51:62-72.
- Pantástico, E. B.; Mattoo, A. K.; Murata, T. T.; Chochin, K. y Phan, C. T. 1979. Cambios químicos durante la maduración y senescencia. *In: fisiología de la postcosección, manejo y utilización de frutas y hortalizas tropicales y subtropicales*. Ed. Continental. México. 129-151 pp.
- SAS/STAT. 2002. SAS Institute. User's Guide. Version 9. SAS Institute Inc. Cary, NC. 1733-1906 pp.
- SIAP. 2014. Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera, Producción anual por cultivo. <http://www.siap.gob.mx/agriculturaproduccion-anual/>.
- Trejo, G. A.; Munguía, M. R. and Cantwell, M. 1992. Inactivation in situ of polyphenol oxidase in ripe avocado fruit. *Proceedings Second World Avocado Congress*. 409-416 p.
- Yahía, E. M. 2001. Manejo Postcosecha del Aguacate. *In: Memorias del 1º Congreso Mexicano y Latinoamericano del Aguacate*. Uruapan, Michoacán, México. 295-304 pp.