



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERIA AGROINDUSTRIAL**

**POSGRADO EN CIENCIAS AGROALIMENTARIAS**

**CAMBIOS FISIOLÓGICOS Y NUTRACÉUTICOS DE AGUACATES  
CRIOLLOS A DIFERENTES TEMPERATURAS DE FRIGOCONSERVACIÓN**

**TESIS**

Que como requisito parcial

para obtener el grado de:

**MAESTRO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA AGROALIMENTARIA**

**Presenta:**

**ROSA LAURA REBOLLEDO GARCÍA**

**Bajo la supervisión de: J. JOEL E. CORRALES GARCÍA, DR.**



**APROBADA**



Chapingo, Estado de México, diciembre de 2020.

**CAMBIOS FISIOLÓGICOS Y NUTRACÉUTICOS DE AGUACATES CRIOLLOS  
A DIFERENTES TEMPERATURAS DE FRIGOCONSERVACIÓN**

Tesis realizada por ROSA LAURA REBOLLEDO GARCÍA bajo la supervisión del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

**MAESTRO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA AGROALIMENTARIA**

DIRECTOR:



---

Dr. José Joel Enrique Corrales García

ASESORA:



---

Dra. Diana Guerra Ramírez

ASESORA:



---

Ph.D. Ma. Carmen Ybarra Moncada

---

# ÍNDICE

ÍNDICE.....	3
LISTA DE CUADROS .....	6
LISTA DE FIGURAS .....	7
ABREVIATURAS USADAS .....	8
DEDICATORIAS.....	9
AGRADECIMIENTOS.....	10
DATOS BIOGRÁFICOS.....	11
RESUMEN GENERAL.....	12
ABSTRACT.....	13
1. INTRODUCCIÓN GENERAL.....	14
2. REVISIÓN DE LITERATURA .....	17
2.1 Aguacate ( <i>Persea americana</i> Mill.).....	17
2.1.1 Origen y distribución del aguacate ( <i>Persea americana</i> Mill.) .....	17
2.1.2 Clasificación taxonómica.....	17
2.1.3 Raza mexicana (var. <i>drymifolia</i> ).....	18
2.1.4 Importancia y comercialización .....	19
2.1.5 Usos.....	20
2.1.6 Refrigeración de productos frescos.....	20
2.1.7 Composición química.....	22
2.2 Nutracéuticos.....	23
2.2.1 Definición .....	23
2.2.2 Actividad antioxidante .....	23
2.2.3 Flavonoides.....	24
2.2.4 Ácidos grasos libres .....	25

2.3	Parámetros de calidad poscosecha en frutos de aguacate .....	25
2.4	Literatura citada .....	26
3.	CARACTERIZACIÓN FISIOLÓGICA Y NUTRACÉUTICA DE AGUACATE CRIOLLO RAZA MEXICANA REFRIGERADO A DIFERENTES TEMPERATURAS <sup>3</sup> .....	35
3.1	Resumen .....	35
3.2	Abstract.....	36
3.3	Introducción .....	37
3.4	Materiales y métodos.....	37
3.4.1	Material vegetal.....	37
3.4.2	Diseño experimental.....	38
3.4.3	Determinación de pérdida de peso.....	38
3.4.4	Determinación de color .....	39
3.4.5	Determinación de la firmeza.....	39
3.4.6	Preparación del material biológico .....	39
3.4.7	Determinación del índice de acidez.....	39
3.4.8	Extracción de compuestos polifenólicos.....	39
3.4.9	Contenido de flavonoides totales .....	40
3.4.10	Determinación de la actividad antioxidante.....	40
3.4.11	Análisis estadístico .....	41
3.5	Resultados y discusión .....	41
3.5.1	Determinación de pérdida de peso.....	42
3.5.2	Determinación de color .....	43
3.5.3	Determinación de la firmeza.....	46
3.5.4	Determinación del índice de acidez.....	46
3.5.5	Contenido de flavonoides totales .....	47

3.5.6	Determinación de la actividad antioxidante .....	49
3.6	Conclusiones .....	50
3.7	Agradecimientos .....	51
3.8	Literatura citada .....	51

## **LISTA DE CUADROS**

Cuadro 1. Características físicas de frutos de aguacate criollo de raza mexicana almacenados por diferentes periodos y temperatura. ....	41
Cuadro 2. Comportamiento de peso durante y después del almacenamiento a bajas temperaturas. ....	43

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Estructura básica de los flavonoides. Fuente: Panche <i>et al.</i> , 2016....	25
Figura 2. Pérdida de peso acumulada (%) en frutos de aguacate criollo de raza mexicana almacenados por diferentes periodos y temperatura.....	42
Cuadro 2. Comportamiento de peso durante y después del almacenamiento a bajas temperaturas. ....	43
Figura 3. Luminosidad (L*), índice de saturación (C*) y ángulo de tono (h°) en pulpa de aguacate criollo de raza mexicana almacenados por diferentes periodos y temperatura.....	44
Figura 4. Luminosidad (L*) e índice de saturación de color (C*) en cáscaras de aguacate criollo de raza mexicana almacenados por diferentes periodos y temperatura.....	45
Figura 5. Firmeza (N) de frutos de aguacate criollo de raza mexicana almacenados por diferentes periodos y temperatura. ....	47
Figura 6. Índice de acidez (% de ácido oleico) de aceites de pulpas de aguacate criollo de raza mexicana almacenados por diferentes periodos y temperatura.	47
Figura 7. Flavonoides totales (mg de EC gp.s. –1) de cáscara y pulpa de frutos de aguacate criollo de raza mexicana almacenados por diferentes periodos y temperatura.....	48

## ABREVIATURAS USADAS

Abreviaturas	Palabras	Significado
et al.	Et alii	Y otros
ET	Equivalentes de Trólox	
EC	Equivalentes de Catequina	
ABTS	Ácido 2,2"-azinobis (3-etilbenzotiazolina-6-sulfónico)	
ABTS•+	Radical Catiónico ABTS	
mg	miligramos	
AlCl <sub>3</sub>	Tricloruro de Aluminio	
mL	mililitros	
mM	milimolar	
μM	micro Moles	
μg	microgramos	
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	Carbonato de Sodio	
TROLOX	Análogo hidrosoluble del alfa-tocoferol, (6-hidroxi-2, 5, 7, 8 tetrametilcromo-2 ácido carboxílico)	

## **DEDICATORIAS**

Dedico este trabajo a mis hijos Andrés Leonardo y Eduardo quienes son la motivación de mi vida; a mi esposo Casimiro por su amor, paciencia y apoyo constante; a mis padres por sus consejos y ayuda, a mis hermanas que siempre están presentes cuando las necesito. A mi abuela Adela, a mis tíos, primos y sobrinos, y como personas especiales a mi abuelo Dionicio†, mi abuela Nunila† y mi tío Dionicio†, quienes me vieron iniciar esta aventura, pero no pudieron verme terminarla.

Asimismo, a los amigos que me acompañaron en este viaje, principalmente a Jairo, Valeria y Karla. También a todos ellos que me guiaron, enseñaron y ayudaron: Diana, Sergio, Daniel, Edna, Magali, Guillermina, Ulises, Brenda y muchos otros que guardo en el corazón.

Agradezco a Dios por permitirme vivir esta experiencia.

## **AGRADECIMIENTOS**

Se agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por el apoyo financiero que brindó al becario en su formación, a la Universidad Autónoma Chapingo por la capacitación ofrecida y el apoyo en el uso de la infraestructura necesaria para el desarrollo del proyecto. Asimismo, se agradece al Dr. Joel Corrales García y a las Dras. Diana Guerra Ramírez y Ma. Carmen Ybarra Moncada, miembros del cuerpo académico de la Maestría en Ciencia y Tecnología Agroalimentaria, por su valioso tiempo, dedicación, capacitación y orientación brindada a lo largo del proceso formativo. Se agradece al INIFAP por su constante apoyo en la capacitación recibida.

## DATOS BIOGRÁFICOS

### Datos personales

Nombre: Rosa Laura Rebolledo García

Fecha de nacimiento 24 de septiembre de 1987

Lugar de nacimiento Xalapa, Veracruz, México

CURPREGR870924MVZBRS04

Profesión Química Farmacéutica Bióloga

Cédula profesional 7755314

Nombre: Rosa Laura Rebolledo García

Fecha de nacimiento: 24 de septiembre de 1987

Lugar de nacimiento: Xalapa, Veracruz, México.



**Desarrollo académico.** Se formó como Químico Farmacéutica Biólogo en la Universidad Veracruzana.

**Experiencia profesional.** Trabajó como investigadora en el Campo Experimental Cotaxtla del INIFAP desde 2012 a la fecha. Ha participado en proyectos de investigación del sector agrícola de diferentes fuentes de financiamiento incluyendo el Fondo Sectorial SAGARPA-CONACyT. Expositora en diversos Congresos Nacionales e Internacionales. Coautora del artículo científico “Effect of rootstock in tree growth, dry matter, flowering, yield and quality of ‘Manila’ mango” publicado en 2019 en la revista Scientia Horticulturae.

## RESUMEN GENERAL

### CAMBIOS FISIOLÓGICOS Y NUTRACÉUTICOS DE AGUACATES CRIOLLOS MEXICANO A DIFERENTES TEMPERATURAS DE FRIGOCONSERVACIÓN<sup>1</sup>

México es el principal productor y consumidor de aguacate, pero ha desvalorizado al aguacate criollo raza mexicana el cual tiene potencial como alimento nutraceutico. Para impulsar la revalorización y comercialización de este producto en diferentes mercados, se deben aplicar tecnologías de manejo poscosecha como la refrigeración. Sin embargo, se desconocen las consecuencias del manejo poscosecha sobre las características fisiológicas y nutraceuticas de estos frutos. Retomando lo anterior resulta interesante conocer la respuesta del aguacate criollo raza mexicana ante el proceso de refrigeración. Se recolectaron frutos de aguacate criollo raza mexicana, en madurez fisiológica, del valle de Atlixco, México. Se probaron cuatro tratamientos 4 y 8 °C de almacenamiento durante 6 y 10 días. Se determinaron la pérdida de peso, el color, la firmeza, el índice de acidez, el contenido de flavonoides totales y la capacidad antioxidante. La interacción de temperatura y tiempo mostró un efecto significativo en el índice de tono de la cáscara ( $p=0.0005$ ), en firmeza ( $p=0.0059$ ), índice de acidez ( $p=0.0324$ ), contenido de flavonoides en pulpa ( $p<0.0001$ ) y cáscara ( $p=0.0013$ ), capacidad antioxidante en pulpa por el método ABTS (2,2'-azino-di (3-etilbenzotiazolina-6-ácido-sulfónico)) ( $p=0.0192$ ) y en cáscara por el método FRAP (Poder antioxidante férrico reductor ) ( $p=0.0015$ ) y el ABTS ( $p<0.0001$ ). Los resultados indican que la mayor temperatura y el mayor tiempo de refrigeración de los aguacates criollos raza mexicana influyen negativamente en las características nutraceuticas del fruto en madurez de consumo.

**Palabras clave:** *Persea americana* var. *drymifolia*, refrigeración, antioxidantes, flavonoides.

---

<sup>1</sup>Tesis de Maestría en Ciencia y Tecnología Agroalimentaria, Universidad Autónoma Chapingo  
Autor: Rosa Laura Rebolledo García  
Director de Tesis: Dr. José Joel Enrique Corrales García

## ABSTRACT

### PHYSIOLOGIC AND NUTRACEUTIC CHANGES IN CRIOLLO AVOCADO OF MEXICAN RACE AT DIFFERET REFRIGERATION TEMPERATURES<sup>2</sup>

Mexico is the main producer and consumer of avocado. However, it has devalued the criollo avocado of Mexican race, which has potential as a nutraceutical food. To promote the revaluation and commercialization of this fruit in different markets, post-harvest handling technologies such as refrigeration must be applied, but the consequences of postharvest handling on the physiological and nutraceutical characteristics of these fruits are unknown. Therefore, it is interesting to know the response of the criollo avocado of Mexican race to the refrigeration process. Fruits of criollo avocado of Mexican race, in physiological maturity, were collected from the Atlixco Valley, Mexico, and four treatments at 4 and 8 ° C storage were tested for 6 and 10 days. Weight loss, color, firmness, acid value and total flavonoid content, and antioxidant capacity were determined. The interaction of temperature and time showed a significant effect on the skin tone index ( $p = 0.0005$ ), firmness ( $p = 0.0059$ ), acid value ( $p = 0.0324$ ), flavonoid content in pulp ( $p < 0.0001$ ) and peel ( $p = 0.0013$ ), antioxidant capacity in pulp by the ABTS (2,2'-Azino-bis (3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid)) method ( $p = 0.0192$ ) and in peel by FRAP (Ferric Reducing Antioxidant Power) ( $p = 0.0015$ ) and ABTS ( $p < 0.0001$ ). Results indicate that higher temperature and refrigeration time of the criollo avocado of Mexican race have a negative influence in the nutraceutical characteristics of the fruit at consumption maturity.

**Key words:** *Persea americana* var. *drymifolia*, refrigeration, antioxidants, flavonoids.

---

<sup>2</sup>Thesis of Maestría en Ciencia y Tecnología Agroalimentaria, Universidad Autónoma Chapingo

Author: Rosa Laura Rebolledo García

Advisor: Dr. José Joel Enrique Corrales García

## 1. INTRODUCCIÓN GENERAL

El aguacate es uno de los frutales más importantes en el mundo y México aporta el 30% de la producción; lo cual genera grandes beneficios en toda la cadena productiva a productores, comercializadores, industriales y consumidores. Destacan la generación de mano de obra y la obtención de divisas del país, ya que México, es el principal productor, exportador y consumidor de esta fruta a nivel internacional (FAO, 2020; SAGARPA, 2011).

Esta especie, nativa de México, cuenta con más de 500 variedades (Ibar, 1986), agrupadas en tres razas: mexicana, antillana y guatemalteca; además de que también existen variedades e híbridos (Ibar, 1986; SAGARPA, 2011). Esta gran heterogeneidad genética se debe a largos periodos de selección y relativo aislamiento entre las diferentes zonas de origen (Rzedowski, 2006).

El taxón *Persea americana* var. *drymifolia* representa las especies cultivadas conocidas como aguacate mexicano o aguacate criollo, del cual existe una extensa variedad de formas y tamaños en el Valle de México (Campos *et al.*, 2011; Scora & Bergh, 1990). Su uso principal es como alimento, algunas personas lo consumen con la cáscara aprovechando el agradable sabor que tiene (Rincón *et al.*, 2011; Villanueva & Verti, 2007).

El aguacate criollo es también una fuente de genes resistentes a plagas y enfermedades para las variedades comerciales (Sánchez-Pérez, 1999). También, de su semilla se obtiene aceite de alta calidad, de la madera se fabrican artesanías, las hojas se emplean en la medicina tradicional y como condimento en la cocina tradicional, por su excelente aroma y sabor, característica ausente en otras razas o variedades como el aguacate 'Hass'. El aguacate criollo, además, es empleado como patrón y en la producción de nuevas variedades (Rincón *et al.*, 2011).

A pesar del vasto reservorio genético del aguacate (Ibar, 1986), el “Hass”, híbrido entre la raza mexicana y la guatemalteca, es el de mayor comercialización y por lo tanto el más estudiado en el mundo (SAGARPA, 2011). La demanda de este material genético, sumado a las técnicas de cultivo no sustentables, provocan que las variedades locales o criollas tiendan a desaparecer (Rzedowski, 2006) Ben-Ya’acov & Barrientos, 2003; Ben-Ya’acov *et al.*, 1992; López-López *et al.*, 1999), lo cual sería una pérdida lamentable, ya que estos aguacates criollos tienen grandes propiedades nutraceuticas.

El aguacate es un fruto muy rico en nutrientes, cuya composición depende del cultivar, el grado de madurez y las condiciones del cultivo. Los principales constituyentes del aguacate ‘Hass’ son agua (70-80%), grasas (15-18%), carbohidratos (4-5%), proteínas (1-2%), fibra (1%) (Donetti & Terry, 2014; Ortiz *et al.*, 2003).

Algunos estudios han identificado compuestos fitoquímicos o nutraceuticos en la pulpa del aguacate ‘Hass’, como carotenoides, compuestos fenólicos y fitoesteroles, así como antocianinas en la cáscara; los mismos compuestos han sido identificados en otras variedades comerciales de aguacate (Cox *et al.*, 2004; Prabath *et al.*, 2011). Los compuestos nutraceuticos del aguacate son importantes por su habilidad de capturar radicales libres presentes en las estructuras celulares y causantes del estrés oxidativo, lo que implica un efecto benéfico en la prevención de enfermedades cardiovasculares, circulatorias, neurológicas y cancerígenas (Katsube *et al.*, 2003; Heim *et al.*, 2002). Además, los fitoesteroles disminuyen el colesterol total plasmático y del colesterol-LDL, sin modificar los niveles del colesterol-HDL, permitiendo prevenir y ayudar en el tratamiento de enfermedades cardiovasculares (Valenzuela y Ronco, 2004). Sin embargo, la información a nivel mundial sobre estos compuestos en aguacates criollos es muy escasa.

La comercialización de los aguacates criollos es importante en mercados locales de algunas zonas productoras; pero los mercados son pequeños y los frutos tienen un bajo precio. Sería muy deseable que este producto se destinara a mercados más importantes en México y en el extranjero, sin embargo, los

aguacates criollos son más perecederos que el 'Hass' teniendo una vida de anaquel más corta. Se reconoce que este producto no tiene demanda en los mercados deseados, pero existe una tendencia por llevar estilos de vida más saludables, como el consumir alimentos mínimamente procesados con beneficios nutricionales adicionales y cualidades sensoriales valiosas (Rasul *et al.*, 2015; Pandey *et al.*, 2010), que permitan prevenir enfermedades y mejorar la salud (Augustin & Sanguansri, 2015; Basu *et al.*, 2007). Por lo que se piensa que esta raza criolla es una buena opción, pues posee propiedades nutracéuticas que la pueden posicionar dentro de las preferencias del consumidor a nivel mundial.

Para poder impulsar la comercialización del fruto fresco en mercados nacionales e internacionales, es necesario estudiar diferentes técnicas de almacenaje que le permitan incrementar su vida de anaquel. Una de estas técnicas es la conservación en frío, pero si bien esta práctica puede ser benéfica, puede ser la fuente de alteraciones fisiológicas si no se realiza apropiadamente (Recasens *et al.*, 2009). Sin embargo, no existe suficiente información técnica para implementar este proceso asegurando el mantenimiento de la calidad del aguacate criollo. Por lo anteriormente expuesto, resulta interesante estudiar los cambios fisiológicos y nutracéuticos en frutos criollos de aguacate, sometidos a condiciones de frigoconservación.

El objetivo de este trabajo fue caracterizar los cambios físicos, fisiológicos y nutracéuticos de aguacate criollo almacenados a diferentes temperaturas.

## 2. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1 Aguacate (*Persea americana* Mill.)

#### 2.1.1 Origen y distribución del aguacate (*Persea americana* Mill.)

El aguacate es conocido y apreciado desde hace 10 mil años., tiene su origen en Mesoamérica, específicamente en la zona comprendida entre México y Perú (Barrientos-Priego & López-López, 2000; Ben-Ya'acov *et al.*, 2003;). Su nombre proviene del náhuatl “Ahuacatl” que significa testículos del árbol (SAGARPA, 2011) y su fruto era considerado por las culturas prehispánicas de México como “regalos de los dioses” (Boza *et al.*, 2018). En el Códice Florentino se encuentra clasificado en tres materiales que se cree pueden corresponder a las tres razas o subespecies actuales: mexicana, antillana y guatemalteca (Barrientos-Priego & López-López, 2000).

En México, se han detectado selecciones locales de alta productividad y de muy buena calidad hortícola específicamente en Atlixco y Tochimilco, Puebla (De la Cruz *et al.*, 1990).

#### 2.1.2 Clasificación taxonómica

El aguacate es una planta perene perteneciente al orden Ranal y a la familia Lauraceae, la cual se caracteriza por tener frutos negros al madurar y con formas alargadas. Dentro de esta familia también se encuentran el laurel (*Laurus nobilis* L.), la canela (*Cinnamomum zeylanicum* Schaeff.), el alcanfor (*Cinnamomum camphora* Schaeff.) y otros; siendo el de mayor importancia comercial el aguacate (Chanderbali *et al.*, 2013; Scora & Bergh, 1990).

Esta familia contiene al género *Persea* el cual es complejo, y se divide en dos subgéneros sexualmente incompatibles el uno con el otro (Boza *et al.*, 2018): *Persea* y *Eriodaphne*; la principal diferencia entre estos son los sépalos que en

el primero se caen y en el segundo son persistentes. El género *Persea*, subgénero *Persea* tiene cuatro especies que difieren drásticamente entre sí: *P. floccosa* Mez, *P. schiedeana* Nees, *P. steyermarkiana* C.K. Allen, y (Chanderbali *et al.*, 2013).

El aguacate (*Persea americana* Mill.) se puede clasificar de acuerdo a su origen y a su domesticación en tres razas hortícolas: mexicana, guatemalteca y antillana. Estas razas también han sido consideradas por Bergh como variedades, donde la raza mexicana corresponde a *Persea americana* var. *drymifolia*, la guatemalteca a la *Persea americana* var. *guatemalensis* y la antillana a *Persea americana* var. *americana* (Acosta Díaz *et al.*, 2013; Chanderbali *et al.*, 2013).

Los árboles de aguacate alcanzan los 30 m de altura, sus flores tienen de 3 a 6 mm de largo y son de un color amarillo verdoso. Cada rama terminal da de 1 a 3 frutos piriformes con exocarpo verde o morado oscuro y pulpa color marfil; la semilla es ovalada de tamaño variable. Estas características varían de una raza a otra (Chanderbali *et al.*, 2013; Douhan *et al.*, 2011).

### **2.1.3 Raza mexicana (var. *drymifolia*)**

La raza mexicana tiene muchos segregantes llamados criollos, endémicos de las tierras altas de México, en los estados de Veracruz, Puebla, México, Querétaro, Guerrero, Michoacán y Guanajuato (Ben-Ya'acov y Barrientos, 2003). En general, se adapta bien a altas elevaciones, tiene mayor resistencia al frío y mayor contenido de aceite que las otras razas (Galindo-Tovar *et al.*, 2008).

Su fruto, empleado como alimento desde el 8000 A.C., se caracteriza por tener un agradable sabor con textura de mantequilla y color verde amarillo (Barrientos-Priego & López-López, 2000; Corrales-García & Méndez-Zúñiga, 2020). La cáscara es delicada y delgada, posee un sabor y olor característico, similar al anís; su color es púrpura con tendencia a negro, esto debido a su contenido de pigmentos con potencial antioxidante (Chanderbali *et al.*, 2013; Corrales-García & Méndez-Zúñiga, 2020). A diferencia de los cultivares de aguacate, esta

variedad se consume tradicionalmente con todo y cáscara, brindando una ventaja por los compuestos que contiene (Corrales-García & Méndez-Zúñiga, 2020).

La información de esta variedad es escasa, debido a que la mayoría del fruto que se comercializa es de traspatio; pero se sabe que el estado de Puebla fue el principal productor de aguacate criollo mexicano con 6 890 t en 2019 (SIAP, 2020b).

#### **2.1.4 Importancia y comercialización**

El aguacate de México inició su comercio internacional antes de la revolución mexicana, mismo que se vio limitado de 1914 a 1997 por una disposición fitosanitaria impuesta por Estados Unidos (CEDRSSA, 2017). A partir del levantamiento de esta prohibición, las exportaciones de este fruto han ido incrementando drásticamente, contribuyendo en 2016 con el 4.39% del producto interno bruto de México (SAGARPA, 2017).

En 2018, México aporta un tercio de la producción mundial de aguacate con más de 2 millones de toneladas cosechadas anualmente, siendo así el principal productor, seguido por República Dominicana, Perú, Indonesia y Colombia (FAO, 2020).

Actualmente, Estados Unidos es el principal importador de aguacate procedente de México, seguido por Japón, Canadá, España y Francia. Se estima que se observará una dinámica de crecimiento de la demanda global de este fruto en volumen y diversificación de mercados (CEDRSSA, 2017).

A pesar de que el mercado internacional del aguacate se encuentra en crecimiento, México sigue siendo el principal consumidor de este producto, por lo cual el mercado nacional puede brindar grandes ganancias (CEDRSSA, 2017).

En el país, Michoacán es el principal productor con el 75%, seguido por otros estados como Jalisco, México, Nayarit y Morelos con un aporte menor (SIAP, 2020a).

En México los principales estados consumidores de aguacate son Puebla, Jalisco, México, Ciudad de México, Tamaulipas, San Luis Potosí, Chihuahua, Guanajuato, Baja California Norte y Michoacán (SAGARPA, 2011).

En contraste con lo anterior, el fruto del aguacate criollo mexicano, se comercializa en mercados regionales y locales, generando aproximadamente 225 mil pesos al año (SIAP, 2020b).

### **2.1.5 Usos**

El aguacate se usa como portainjertos en el mejoramiento genético de variedades, principalmente para brindar resistencia o tolerancia a enfermedades como roña y pudrición de raíz (Douhan *et al.*, 2011).

Por otra parte, el fruto del aguacate se consume principalmente en fresco. También se aprovecha congelado con jugo de limón y especias (guacamole), como un queso fermentado y su pulpa se usa para hacer helados. Asimismo, de la pulpa se puede extraer aceite el cual se emplea en la elaboración de cosméticos, como aceite de cocina y protector solar (Axtell & Fairman, 1992; Pérez *et al.*, 2015).

### **2.1.6 Refrigeración de productos frescos**

La refrigeración de productos frescos es una de las prácticas más usadas en la regulación de la velocidad de maduración de los frutos (Díaz, 2002). Las bajas temperaturas alargan la vida útil del producto después de la cosecha debido a una ralentización de su metabolismo por la disminución de la síntesis de etileno, pero por otro lado pueden ser la fuente de alteraciones fisiológicas (Díaz, 2002; Recasens *et al.*, 2009).

El aguacate, al ser un fruto subtropical, no tolera temperaturas muy bajas y puede sufrir daños por frío. Un factor muy importante para estos frutos es el estado de madurez al momento de la cosecha (Recasens *et al.*, 2009), en el caso del aguacate su sensibilidad al daño por frío incrementa al momento del pico climatérico (Kosiyachinda & Young, 1976).

El daño por frío se define como alteraciones fisiológicas causadas por el almacenamiento refrigerado de especies vegetales tropicales o subtropicales, que afectan negativamente su calidad e impide su comercialización por el deterioro de los tejidos (Quiroz-González *et al.*, 2017).

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 (Osuna García *et al.*, 2017) este último está relacionado con la oxidación de lípidos. Asimismo, la temperatura de almacenamiento también puede afectar directamente el contenido de polifenoles como flavonoides y carotenoides por su fácil oxidación (Pandey & Rizvi, 2009).

El daño por frío está influenciado por diversos factores, tales como las condiciones de crecimiento (altitud), grado de madurez, época de cosecha, tamaño del fruto, temperatura y tiempo de almacenamiento (Osuna García *et al.*, 2017). Para el proceso de exportación del aguacate se requiere tener un periodo de cuarentena, debido a la mosca de la fruta, de 14 días a 1.1 °C (Sivankalyani *et al.*, 2015). Lo anterior ha llevado a realizar estudios en donde se exploren diversos factores que pueden afectar la tolerancia al frío del aguacate.

Corrales y Tlapa (1999) estudiaron el efecto de la temperatura y tiempo de refrigeración y tiempo postrefrigeración sobre daño por frío y etanol, en aguacate 'Hass', encontrando que la producción de etanol puede ser considerada como un índice de daño por frío, siempre que el periodo de refrigeración no sea mayor a 12 días.

Barrientos-Priego *et al.* (2016) estudiaron la aplicación de aspersiones precosechas de  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  en la fisiología poscosecha de frutos "Hass" almacenados en 5 °C y temperatura ambiente por 5 semanas. Encontraron que la aplicación de coadyuvantes que infiltran iones calcio disminuye la tasa respiratoria, la producción de etileno en ambas temperaturas, la pérdida de peso, la actividad de polifenoloxidasas y el daño por frío.

Osuna García *et al.* (2017), por otra parte, estudiaron la influencia del clima (templado subhúmedo, semicálido subhúmedo y cálido subhúmedo) y la rugosidad del fruto en la tolerancia del aguacate 'Hass' a la refrigeración (4, 6 y 8 °C), aunque no encontraron efecto en el daño por frío si se observó la influencia de la rugosidad sobre la pérdida de peso del fruto.

Sivankalyani *et al.* (2015) sometieron materiales 'Hass' y 'Ettinger' a condiciones de cuarentena observando una prevalencia del daño por frío, por lo que incorporaron otras técnicas de almacenaje: atmósferas controladas, metil jasmonato, 1-MCP y la disminución gradual de temperaturas por tres días. El tratamiento combinado de éstas redujo el daño por frío y mantuvo una calidad comercial igual que lo almacenado a 5 °C.

Por otra parte, se ha encontrado que los compuestos químicos del fruto pueden ser afectados por las condiciones de almacenamiento. Salazar-García *et al.* (2017) encontraron que la composición fitoquímica de la cáscara del aguacate se ve afectada por el clima, siendo menor la concentración de bioactivos en climas templados en comparación con los cálidos, mientras que otros son lábiles a temperaturas altas (Sánchez, 2016). Se ha reportado una disminución en el contenido de ácido oleico en pulpa de aguacate 'Hass' después de una semana de almacenaje (Salcedo *et al.*, 2018), esto se debe a que los ácidos grasos insaturados y poliinsaturados son sustancias altamente inestables durante su procesamiento y almacenamiento (Rodríguez-Rodríguez *et al.*, 2016). Esta característica de los ácidos grasos la comparte con las antocianinas que son altamente inestables y muy susceptibles a la degradación durante el procesamiento y almacenamiento de los alimentos (Fossen *et al.*, 1998).

A pesar de la existencia de todos estos estudios, no se ha encontrado información sobre la respuesta del aguacate var *drymifolia* a diferentes condiciones de almacenamiento.

### **2.1.7 Composición química**

La composición química del fruto del aguacate criollo mexicano es muy variable (Corrales-García & Méndez-Zúñiga, 2020). En estudio reportado en 2019 encontró que el contenido de aceite en pulpa puede fluctuar entre 16.20 y 32.2 g•100 g<sup>-1</sup> m. f.; este aceite a su vez se constituye por un 9.48 a 37.13% de ácidos grasos poliinsaturados, un 49 a 68.13% de ácidos grasos monoinsaturados y un 13.5 a 26% de ácidos grasos saturados; asimismo las antocianinas en cáscara se encuentran en concentraciones que van del 0.06 al 5.49 mg•g<sup>-1</sup> m. f. con un

potencial antioxidante de 53.31-307.33  $\mu\text{mol ET}\bullet\text{g}^{-1}$  m. f. (Corrales-García *et al.*, 2019).

## **2.2 Nutracéuticos**

### **2.2.1 Definición**

Nutracéuticos es un concepto ampliamente usado del cual existen diversas definiciones. El primero en mencionar este concepto fue Stephen Defelice, que lo define como “cualquier sustancia que es un alimento o parte de un alimento y provee beneficios médicos o a la salud, incluyendo la prevención o tratamiento de enfermedades” (Dharti *et al.*, 2010).

Algunos compuestos químicos que son considerados como compuestos nutracéuticos por su uso potencial en beneficio de la salud humana son: carotenoides, fibra dietética, probióticos, minerales, polioles, ácidos grasos y compuestos polifenólicos (Dharti *et al.*, 2010). La mayoría de estos compuestos tienen la capacidad de proteger los componentes celulares contra radicales libres debido a sus efectos antioxidantes (Medina-Carrillo *et al.*, 2017).

### **2.2.2 Actividad antioxidante**

Los antioxidantes en alimentos se definen como sustancias que presentes en bajas concentraciones son capaces de inhibir la oxidación de un sustrato oxidable presente en mayor concentración (Gülçin, 2012).

Los compuestos con capacidad antioxidante son reconocidos por inhibir la reacción en cadena de los radicales libres y el estrés oxidativo. Éste último es un estado patológico en el que las especies reactivas de oxígeno y nitrógeno sobrepasan las defensas antioxidativas del organismo, lo que provoca que las macromoléculas humanas se modifiquen ocasionando daño en tejidos y muerte celular acelerada lo que deriva en diversas enfermedades (Apak *et al.*, 2016).

Considerando lo anterior, se puede decir que la capacidad antioxidante es una herramienta importante para la investigación de relación entre dietas antioxidantes y patologías (Pisoschi & Negulescu, 2012), por lo que existen diversas metodologías para su determinación.

### **Metodología ABTS (2,2-azinobis (3-ethyl- benzothiazoline-6-sulfonic acid) diammonium salt)**

La metodología ABTS es un método espectrofotométrico en donde se mide la diferencia de color después de ocurrir una reacción. El cromóforo azul verdoso  $ABTS^{\bullet+}$  es un radical catiónico que al entrar en contacto con un agente antioxidante se reduce en ABTS. La reducción se observa como una decoloración cuantificable al determinar la absorbancia a 750 nm y compararlos con una curva de calibración de Trolox (Alam *et al.*, 2013).

### **Metodología FRAP (Ferric reducing antioxidant power)**

El método de poder antioxidante reductor férrico (FRAP) mide la reducción del ión  $Fe^{3+}$  del complejo 2,4,3-tripiridil-1,3,5-triazina al ligarlo con antioxidantes en medios ácidos (Alam *et al.*, 2013). El uso de pH bajo como medio de reacción permite mantener la solubilidad del hierro e impulsar la transferencia de electrones. La actividad antioxidante se cuantifica al determinar la absorbancia a 293 nm y compararla con una curva de calibración de Trolox como estándar (Shahidi & Zhong, 2015).

El ensayo FRAP, en general, como método que emplea el Trolox como estándar se puede emplear en combinación con otros métodos para la determinación de la actividad antioxidante y distinguir, de esta forma, el mecanismo predominante de la muestra (Shahidi & Zhong, 2015).

### **2.2.3 Flavonoides**

Los flavonoides son metabolitos secundarios de los procesos bioquímicos de las plantas, éstos se encuentran ampliamente distribuidos en frutas y hortalizas que los emplean, entre otras cosas, para su desarrollo, como defensa en contra de plagas y les brindan características físicas como color y aroma (Panche *et al.*, 2016).

Los flavonoides son compuestos polifenólicos de bajo peso molecular, cuya estructura básica está compuesta por tres anillos (Figura 1). Los flavonoides se pueden clasificar dependiendo del carbono del anillo C en donde se une con el

anillo B y los radicales del anillo B (Figura 1) en antocianinas, chalconas, flavononas, flavonas, flavonoles e isoflavonoides (Panche *et al.*, 2016).

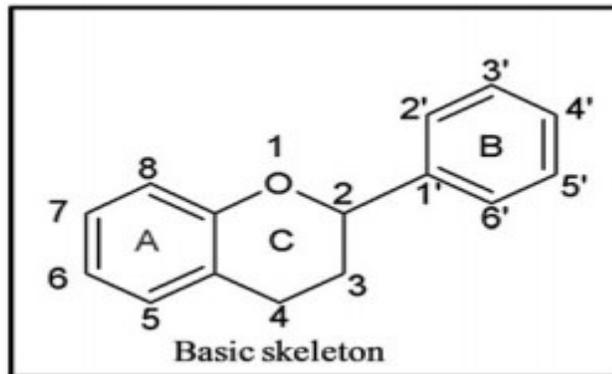


Figura 1. Estructura básica de los flavonoides. Fuente: Panche *et al.*, 2016.

Se ha encontrado que la ingesta de estos compuestos polifenólicos tienen beneficios a la salud, entre los que destacan las funciones antioxidantes, antiinflamatorias, antimutagénicas y anticarcinogénicas (Panche *et al.*, 2016).

#### 2.2.4 Ácidos grasos libres

Los ácidos grasos libres son aquellos que tienen un grupo ácido, pero no están unidos a un alcohol y por lo tanto pueden ser hidrolizados (Rodríguez *et al.*, 2016; SE, 2012). Para su determinación se realiza una titulación a la muestra empleando un álcali de concentración conocida, expresando los resultados como porcentaje de ácidos grasos libres como oléico (SE, 2012). Este parámetro es un indicador de la calidad y se conoce como índice de acidez (Rodríguez *et al.*, 2016). Duque *et al.* (2013) reportaron un índice de acidez de 1.68% del aceite de "Hass" extraído por Soxhlet.

### 2.3 Parámetros de calidad poscosecha en frutos de aguacate

La calidad de los frutos no puede ser mejor que la que se tenga al momento de cosecha y esta va decreciendo con el paso del tiempo. De aquí nace la importancia de aplicar técnicas apropiadas para retrasar el deterioro del fruto y

que llegue con la mejor calidad posible al destino final (Hurtado-Fernández *et al.*, 2018).

La calidad del aguacate se puede determinar empleando los parámetros peso, color, forma, apariencia externa y firmeza. En general los frutos deben estar enteros, sanos, limpios; exentos de plagas, daños visibles, olor y sabor extraño y de daños causados por bajas temperaturas (FAO, 2013).

## 2.4 Literatura citada

Acosta Díaz, E., Almeyda León, I. H., & Hernández Torres, I. (2013). Evaluación de aguacates criollos en Nuevo León, México: región sur. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 4(4), 531–542.

Alam, M. N., Bristi, N. J., & Rafiquzzaman, M. (2013). Review on in vivo and in vitro methods evaluation of antioxidant activity. *Saudi Pharmaceutical Journal*, 21(2), 143–152. <https://doi.org/10.1016/j.jsps.2012.05.002>

Apak, R., Özyürek, M., Güçlü, K., & Çapanoğlu, E. (2016). Antioxidant activity/capacity measurement. 1. Classification, physicochemical principles, mechanisms, and electron transfer (ET)-based assays. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 64(5), 997–1027. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.5b04739>

Augustin, M. A. y Sanguansri, L. (2015). Challenges and solutions to incorporation of nutraceuticals in foods. *Annu. Rev. Food. Sci. Technol.*, 6, 463-477. doi: 10.1146/annurev-food-022814-015507

Axtell, B. L. y Fairman, R. M. (1992). *Minor oil crops*. Recuperado de <http://www.fao.org/docrep/X5043E/x5043E00.htm#Contents>

Barrientos-Priego, A. F., & López-López, L. (2000). Historia y genética del aguacate. In *El aguacate y su manejo integrado*. Mundi-Prensa (pp. 19–31).

Barrientos-Priego, A. F., Martínez-Damián, M. T., Vargas-Madriz, H. y Lázaro-Dzul, M. O. (2016). Effect of preharvest calcium spraying on ripening and chilling injury in 'Hass' (*Persea americana* Mill.) avocado. *Revista*

*Chapingo Serie Horticultura*, 22(3), 145-159. doi:  
10.5154/r.rchsh.2016.04.010

- Basu, S. K., Thomas, J. E. y Acharya, S. N. (2007). Prospects for growth in global nutraceuticals and functional food markets: a Canadian perspective. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 1(4), 637-649.
- Ben-Ya'acov, A., Bufler, G., Barrientos-Priego, A., De la Cruz T., E. y López-López, L. (1992). A study of the avocado germplasm resources, 1988-90. I. General description of the international project and its findings. *Second World Avocado Congress*. International Avocado Society, Estados Unidos.
- Ben-Ya'acov, A. y Barrientos P., A (2003). The *Persea* germplasm resources potential as discovered during an international collection project. *V Congreso Mundial del Aguacate*. International Avocado Society, España.
- Ben-Ya'acov, A., Solis-Molina A. y Bufler G. (2003). The wild avocado of Monteverde, Costa Rica. *V Congreso Mundial del Aguacate 2003*. International Avocado Society, España.
- Benzie, I. F. F., & Strain, J. J. (1996). The Ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of "Antioxidant Power": The FRAP assay. *Analytical Biochemistry*, 239, 70–76. <https://doi.org/10.1039/c6ay01739h>
- Boza, E. J., Tondo, C. L., Ledesma, N., Campbell, R. J., Bost, J., Schnell, R. J., & Gutiérrez, O. A. (2018). Genetic differentiation, races and interracial admixture in avocado (*Persea americana* Mill.), and *Persea* spp. evaluated using SSR markers. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 65(4), 1195–1215. <https://doi.org/10.1007/s10722-018-0608-7>
- Campos R., E., Hernández V. F. L., Espíndola, B. M., Reyes A., J. C. y Barrientos P., A. (2011). Characterization of creole mexican avocado (*Persea drymifolia*) as donor seed. *VII World Avocado Congress 2011*. International Avocado Society, Australia.
- CEDRSSA. (2017). REPORTE - Caso de Exportación: El Aguacate. 29.

- Chanderbali, A. S., Soltis, D. E., Soltis, P. S., & Wolstenholme, B. N. (2013). Taxonomy and botany. *The Avocado: Botany, Production and Uses*, January, 31–50. <https://doi.org/10.1079/9781845937010.0031>
- Corrales-García, J. E., García-Mateos, M. del R., Martínez-López, E., Barrientos-Priego, A. F., Ybarra-Moncada, M. C., Ibarra-Estrada, E., Méndez-Zúñiga, S. M., & Becerra-Morales, D. (2019). Anthocyanin and oil contents, fatty acids profiles and antioxidant activity of mexican landrace avocado fruits. *Plant Foods for Human Nutrition*, 74(2), 210–215. <https://doi.org/10.1007/s11130-019-00721-1>
- Corrales-García, J. y Tlapa-Rangel, C. C. (1999). Chilling injury and ethanol production in avocados (*Persea americana*, Mill.) cv. Hass. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 5, 345-351.
- Corrales-García, J., & Méndez-Zúñiga, S. (2020). Criollo avocado of mexican race (*Persea americana* var. *drymifolia*): an underutilized species in horticulture. November, 4–7. <https://doi.org/10.15406/hij.2020.04.00186>
- Cox, K. A., McGhie, T. K., White, A., & Woolf, A. B. (2004). Skin colour and pigment changes during ripening of “Hass” avocado fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 31(3), 287–294. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2003.09.008>
- De la Cruz, E., López, L., Colín, J. G., Barrientos, A., & Ben Ya’Acov, A. D. (1990). Avances en el estudio de los recursos genéticos del aguacate. *CIC-FRUTICOLA-CICTAMEX*, 91–100.
- Dharti S., T., Gandhi, S. y Shah M. (2010). Nutraceuticals-portmanteau of science and nature. *International Journal of Pharmaceutical Sciences Review and Research*, 5(3), 33-38.
- Díaz M., D. H. (2002). *Fisiología de árboles frutales*. Distrito Federal, México: Editorial AGT.

- Donetti, M. y Terry, L. A. (2014). Biochemical markers defining growing area and ripening stage of imported avocado fruit cv. Hass. *Journal of food composition and analysis*, 34(1), 90-98.
- Douhan, G. W., Fuller, E., McKee, B., & Pond, E. (2011). Genetic diversity analysis of avocado (*Persea americana* Miller) rootstocks selected under greenhouse conditions for tolerance to phytophthora root rot caused by *Phytophthora cinnamomi*. *Euphytica*, 182(2), 209–217. <https://doi.org/10.1007/s10681-011-0433-y>
- Duque, A. M. R., Londoño-Londoño, J., Álvarez, D. G., Paz, Y. B., & Salazar, B. L. C. (2013). Comparación del aceite de aguacate variedad Hass cultivado en Colombia, obtenido por fluidos supercríticos y métodos convencionales: Una perspectiva desde la calidad. *Revista Lasallista de Investigación*, 9(2), 151–161.
- FAO. (2020). Cultivos: Aguacate. FAOSTAT Cultivos. <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC>
- Fossen, T., Cabrita, L. y Andersen, O. M. (1998). Colour and stability of pure anthocyanins influenced by pH including the alkaline region. *Food Chemistry*, 63(4), 435-440.
- Galindo-Tovar, M. E., Ogata-Aguilar, N., & Arzate-Fernández, A. M. (2008). Some aspects of avocado (*Persea americana* Mill.) diversity and domestication in Mesoamerica. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 55(3), 441–450. <https://doi.org/10.1007/s10722-007-9250-5>
- Gülçin, I. (2012). Antioxidant activity of food constituents: An overview. *Archives of Toxicology*, 86(3), 345–391. <https://doi.org/10.1007/s00204-011-0774-2>
- Hurtado-Fernández, E., Fernández-Gutiérrez, A., & Carrasco-Pancorbo, A. (2018). Avocado fruit— *Persea americana*. *Exotic Fruits*, 37–48. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-803138-4.00001-0>
- Ibar A., L. (1986). *Cultivo del: aguacate, chirimoyo, mango, papaya*. España. Editorial AEDOS.

- Katsube, N, Iwashita, K., Tsushida, T., Yamaki, K. y Kobori M. (2003). Induction of apoptosis in cáncer cells by Bilberry (*Vaccinium myrtillus*) and the anthocyanins. *J. Agric. Food Chem.*, 51(1), 68-75.
- Kosiyachinda, S. y Young, R. E. (1976). Chilling sensitivity of avocado fruit at different stages of the respiratory climacteric. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 101(6), 665-667. Recuperado de [http://www.avocadosource.com/Journals/ASHS/ASHS\\_1976\\_101\\_PG\\_665-667.pdf](http://www.avocadosource.com/Journals/ASHS/ASHS_1976_101_PG_665-667.pdf)
- Kubola, J., & Siriamornpun, S. (2011). Phytochemicals and antioxidant activity of different fruit fractions (peel, pulp, aril and seed) of Thai gac (*Momordica cochinchinensis* Spreng). *Food Chemistry*, 127(3), 1138–1145. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.01.115>
- López-López, L., Barrientos-Priego, A. F. y Ben-Ya'acov, A. D. (1999). Variabilidad genética de los bancos de germoplasma de aguacate preservados en el Estado de México. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 5, 19-23.
- Luna-Ramírez, J. C., Jiménez-Arenas, C., & Campos-Correa, N. D. (2014). Evaluación psicométrica de un deshidratador de bandeja para alimentos. *Alimentos Hoy*, 23(33), 26–39.
- McGuire, R. G. (1992). Reporting of Objective Color Measurements. *HortScience*, 27(12), 1254–1255. <https://doi.org/10.21273/hortsci.27.12.1254>
- Medina-Carrillo, R. E., Salazar-García, S. y González-Valdivia, J. (2017). Fitoquímicos, nutrimentos y factores ambientales asociados a la rugosidad de la piel del aguacate 'Hass' en tres regiones de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, Pub. Esp.*(9), 3869-3884.
- NMX-FF-016-2002. Productos alimenticios no industrializados para uso humano - fruta fresca - aguacate (*Persea americana* Mill) - Especificaciones, 1 (2002).

- Osuna García, J. A., Nolasco González, Y., Herrera González, J. A., Guzmán Maldonado, S. H., & Álvarez Bravo, A. (2017). Influencia del clima y rugosidad sobre la tolerancia a refrigeración del aguacate 'Hass.' *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 19, 3911. <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i19.660>
- Panche, A. N., Diwan, A. D., & Chandra, S. R. (2016). Flavonoids: An overview. *Journal of Nutritional Science*, 5. <https://doi.org/10.1017/jns.2016.41>
- Pandey, M. y Rizvi, S. I. (2009). Plant polyphenols as dietary antioxidants in human health and disease. *Oxid Med Cell Longev*, 2(5), 270-278.
- Pisoschi, A. M., & Negulescu, G. P. (2012). Methods for Total Antioxidant Activity Determination: A Review. *Biochemistry & Analytical Biochemistry*, 01(01), 1–10. <https://doi.org/10.4172/2161-1009.1000106>
- Prabath Pathirana, U. A., Sekozawa, Y., Sugaya, S., & Gemma, H. (2011). Effet de l'application combinée de 1-MCP et d'une faible teneur en oxygène sur la réduction des dégâts dus au froid et la stabilité de l'oxydation des lipides chez l'avocat (*Persea americana* Mill.) stocké à basse température. *Fruits*, 66(3), 161–170. <https://doi.org/10.1051/fruits/2011023>
- Quiroz-González, B., Corrales-García, J. J. E., Colinas-León M. T. B. e Ybarra-Moncada, M. C. (2017). Identification of variables correlated with chilling injury in pitahaya (*Hylocerus undatus* Haworth). *Agrociencia*, 51, 153-172.
- Rasul S., H. A., Osborne, S., Masci, P. y Gobe, G. (2015). Marine-based nutraceuticals. An innovative trend in the food and supplement industries. *Mar. Drugs*, 13, 6336-6351. doi:10.3390/md13106336.
- Recasens, I., Schotsmans, W., Soria, Y. y Larrigaudière, C. (2009). Bases fisiológicas de los cambios de calidad de las frutas durante el transporte. En Correa H., E. C., Ruiz A., M. y Ruiz G., L. (Ed), *Detección de problemas asociados a la calidad* (pp.38-46). Madrid, España, FRUTURA.
- Rincón-Hernández, C. A., Sánchez P., J. L. y Espinosa-García, F. J. (2011). Caracterización química foliar de los árboles de aguacate criollo (*Persea*

*americana* var. *drymifolia*) en los bancos de germoplasma de Michoacán, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 82, 395-412.

Rodríguez-Carpena, J. G., Morcuende, D., Andrade, J. M., Kylli, P., & Estevez, M. (2011). Avocado (*Persea americana* Mill.) phenolics, in vitro antioxidant and antimicrobial activities, and inhibition of lipid and protein oxidation in porcine patties. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59(10), 5625–5635. <https://doi.org/10.1021/jf1048832>

Rodríguez-Rodríguez, R., García-Fajardo, J. A. y Espinosa-Andrews, H. (2016) Ácidos grasos: clasificación e importancia en la salud humana. En H. Espinosa A., E. García M. y E. Gastélum M. (Eds.) *Los compuestos bioactivos y tecnologías de extracción* (pp. 9-32). Zapopan, México: CIATEJ.

Rzedowski, J. (2006). Vegetación de México. In *Taxon* (CONABIO, Issue 1). <https://doi.org/10.2307/1219727>

SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo rural, P. y A. (2011). Monografía de cultivos. Aguacate.

SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo rural, P. y A. (2017). Planeación agrícola nacional 2017-2030. Aguacate mexicano. In *Planeación Agrícola Nacional 2017-2030*. <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/257067/Potencial-Aguacate.pdf>

Salazar-García, S., Medina-Carrillo, R. E., & Álvarez-Bravo, A. (2017). Evaluación inicial de algunos aspectos de calidad del fruto de aguacate 'Hass' producido en tres regiones de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7(2), 277. <https://doi.org/10.29312/remexca.v7i2.343>

Salcedo, R., Quiñones, Y., Melgarejo, L.M., Hernández, M.S. and Fernández-Trujillo, J.P. (2018). Variation in the fatty acid profile and quality of 'Hass' avocados preserved during cold storage. *Acta Hort.* 1194, 1007-1010. DOI: 10.17660/ActaHortic.2018.1194.143.

- Sánchez C., M. A. (2016). Cavitación. En H. Espinosa A., E. García M. y E. Gastélum M. (Eds.) *Los compuestos bioactivos y tecnologías de extracción* (pp. 82-93). Zapopan, México: CIATEJ
- Sánchez Hernández, A., Cruz Gómez, M. A., & Teutli León, M. (2019). Valoración ambiental del centro histórico de Atlixco, Puebla. *Regiones y Desarrollo Sustentable*, 19(37).
- Sánchez- Pérez, J. de la L. (1999). Recursos genéticos de aguacate (*Persea americana* Mill.) y especies afines en México. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 5, 738-750.
- Scora, R. W., & Bergh, B. (1990). The origins and taxonomy of avocado (*Persea americana*) Mill Lauraceae. *Acta Horticulturae*, 275, 387–394.
- Secretaría de Economía, S. (2012). NMX-F-101-SCFI-2012 Alimentos - Aceites y grasas vegetales o animales - Determinación de ácidos grasos libres - Método de prueba.
- Shahidi, F., & Zhong, Y. (2015). Measurement of antioxidant activity. *Journal of Functional Foods*, 18, 757–781. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2015.01.047>
- SIAP. (2020a). Aguacate.
- SIAP. (2020b). Aguacate criollo.
- Sivankalyani, V., Feygenberg, O., Maorer, D., Zaaroor, M., Fallik, E., & Alkan, N. (2015). Combined treatments reduce chilling injury and maintain fruit quality in avocado fruit during cold quarantine. *PLoS ONE*, 10(10), 1–16. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0140522>
- Thompson, J. F. (2011). Psicrometría y productos perecederos. In A. A. Kader (Ed.), *Tecnología Poscosecha de cultivos hortofrutícolas* (1st ed.).
- Valenzuela B., A. y Ronco M., A. M. (2004). Fitoesteroles y fitoestanoles: aliados naturales para la protección de la salud cardiovascular. *Rev Chil Nutr*, 21(1), 161-169.

Villanueva, M. y Verti, S. (2007). Libro: El aguacate: oro verde de México, orgullo de Michoacán. *VI World Avocado Congress 2007*. International Avocado Society, Chile.

### 3. CARACTERIZACIÓN FISIOLÓGICA Y NUTRACÉUTICA DE AGUACATE CRIOLLO RAZA MEXICANA REFRIGERADO A DIFERENTES TEMPERATURAS<sup>3</sup>

#### 3.1 Resumen

México es el principal productor y consumidor de aguacate, pero ha desvalorizado al aguacate criollo raza mexicana el cual tiene potencial como alimento nutraceutico. Para impulsar la revalorización y comercialización de este producto en diferentes mercados, se deben aplicar tecnologías de manejo poscosecha como la refrigeración. Sin embargo, se desconocen las consecuencias del manejo poscosecha sobre las características fisiológicas y nutraceuticas de estos frutos. Retomando lo anterior resulta interesante conocer la respuesta del aguacate criollo raza mexicana ante el proceso de refrigeración. Se recolectaron frutos de aguacate criollo raza mexicana, en madurez fisiológica, del valle de Atlixco, México. Se probaron cuatro tratamientos 4 y 8 °C de almacenamiento durante 6 y 10 días. Se determinaron la pérdida de peso, el color, la firmeza, el índice de acidez, el contenido de flavonoides totales y la capacidad antioxidante. La interacción de temperatura y tiempo mostró un efecto significativo en el índice de tono de la cáscara ( $p=0.0005$ ), en firmeza ( $p=0.0059$ ), índice de acidez ( $p=0.0324$ ), contenido de flavonoides en pulpa ( $p<0.0001$ ) y cáscara ( $p=0.0013$ ), capacidad antioxidante en pulpa por el método ABTS (2,2'-azino-di (3-etilbenzotiazolina-6-ácido-sulfónico)) ( $p=0.0192$ ) y en cáscara por el método FRAP (Poder antioxidante férrico reductor ) ( $p=0.0015$ ) y el ABTS ( $p<0.0001$ ). Los resultados indican que la mayor temperatura y el mayor tiempo de refrigeración de los aguacates criollos raza mexicana influyen negativamente en las características nutraceuticas del fruto en madurez de consumo.

**Palabras clave:** *Persea americana* var. *drymifolia*, refrigeración, antioxidantes, flavonoides.

---

<sup>3</sup>Tesis de Maestría en Ciencia y Tecnología Agroalimentaria, Universidad Autónoma Chapingo  
Autor: Rosa Laura Rebolledo García  
Director de Tesis: Dr. José Joel Enrique Corrales García

## 3.2 Abstract

### Physiologic and nutraceutic changes in criollo avocado of mexican race at differet refrigeration temperatures<sup>4</sup>

Mexico is the main producer and consumer of avocado. However, it has devalued the criollo avocado of Mexican race, which has potential as a nutraceutical food. To promote the revaluation and commercialization of this fruit in different markets, post-harvest handling technologies such as refrigeration must be applied, but the consequences of postharvest handling on the physiological and nutraceutical characteristics of these fruits are unknown. Therefore, it is interesting to know the response of the criollo avocado of Mexican race to the refrigeration process. Fruits of criollo avocado of Mexican race, in physiological maturity, were collected from the Atlixco Valley, Mexico, and four treatments at 4 and 8 ° C storage were tested for 6 and 10 days. Weight loss, color, firmness, acid value and total flavonoid content, and antioxidant capacity were determined. The interaction of temperature and time showed a significant effect on the skin tone index ( $p = 0.0005$ ), firmness ( $p = 0.0059$ ), acid value ( $p = 0.0324$ ), flavonoid content in pulp ( $p < 0.0001$ ) and peel ( $p = 0.0013$ ), antioxidant capacity in pulp by the ABTS (2,2'-Azino-bis (3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid)) method ( $p = 0.0192$ ) and in peel by FRAP (Ferric Reducing Antioxidant Power) ( $p = 0.0015$ ) and ABTS ( $p < 0.0001$ ). Results indicate that higher temperature and refrigeration time of the criollo avocado of Mexican race have a negative influence in the nutraceutical characteristics of the fruit at consumption maturity.

**Key words:** *Persea americana* var. *drymifolia*, refrigeration, antioxidants, flavonoids.

---

<sup>4</sup>Thesis of Maestría en Ciencia y Tecnología Agroalimentaria, Universidad Autónoma Chapingo  
Author: Rosa Laura Rebolledo García  
Advisor: Dr. José Joel Enrique Corrales García

### **3.3 Introducción**

México es el principal país productor, consumidor y exportador de aguacate en el mundo (SAGARPA, 2011; 2017). El aguacate criollo raza mexicana incluye a frutos de cáscara lisa, delgada, color con tendencia a negro, que se puede consumir junto con la pulpa lo que da un sabor agradable característico y una textura de mantequilla (Barrientos-Priego & López-López, 2000; Chanderbali *et al.*, 2013; Corrales-García & Méndez-Zúñiga, 2020).

Los aguacates criollos raza mexicana son ricos en compuestos nutraceuticos en pulpa y cáscara (Corrales-García & Méndez-Zúñiga, 2020), como los flavonoides. Estos compuestos son sustancias consumidas de forma cotidiana en la dieta humana que tienen propiedades farmacológicas diversas (Estrada-Reyes *et al.*, 2012), diariamente las personas consumen algunos cientos de miligramos (Hollman & Katan, 1999), pero se recomienda consumir al menos 500 mg al día para disminuir el riesgo de diabetes tipo 2 (Liu *et al.*, 2014).

El contenido nutraceutico es una característica sin ser explotada comercialmente debido a que se desconoce el manejo poscosecha que se debe tener con este material genético y los efectos que tendrían en las características del fruto. La refrigeración es una de las tecnologías poscosecha más usadas en productos frescos (Díaz, 2002), que al ser utilizada adecuadamente regula la maduración del fruto o, por el contrario, su mal uso puede traer consecuencias fisiológicas y probablemente químicas. Por lo que el objetivo fue determinar las características fisiológicas y nutraceuticas de aguacate criollo raza mexicana refrigerado a diferentes temperaturas y periodos.

### **3.4 Materiales y métodos**

#### **3.4.1 Material vegetal**

Se recolectó aguacate criollo *Persea americana* var. *drymifolia*, en huertos establecidos en el valle de Atlixco, Puebla; entre las coordenadas 56° 07' 0.3" longitud Oeste y 20° 59' 39.0" altitud Norte. En el valle predomina un clima

templado subhúmedo con lluvias en verano (Cwb) con una temperatura promedio anual de 19.4 °C y una precipitación anual promedio de 882 mm (Sánchez *et al.*, 2019). La recolecta se realizó en el mes de octubre de 2019, los frutos fueron transportados en refrigeración al Departamento de Agroindustrias de la Universidad Autónoma Chapingo. Los frutos fueron lavados con agua corriente, se sumergieron por 15 min en una solución de cloro 200 ppm y se dejaron secar a temperatura ambiente. Finalmente fueron caracterizados, registrando su peso al momento de cosecha, la proporción pulpa hueso al separar el hueso de la pulpa y pesarlos de forma independiente; los diámetros ecuatorial y polar con un pie de rey digital y el índice de forma al relacionar ambos diámetros.

### **3.4.2 Diseño experimental**

Se estableció un diseño experimental factorial 2<sup>2</sup>, con tres repeticiones, donde el factor A corresponde a la temperatura de almacenamiento de 4°C y 8°C; mientras el factor B es el tiempo de almacenamiento de 6 y 10 días. El modelo matemático es representado de la siguiente manera.

$$y_{ij} = \mu + (A)_i + (B)_j + (AB)_{ij} + e_{ij}$$

$y_{ij}$  : Representa la observación correspondiente al nivel (i) del factor A y al nivel (j) del factor B;  $\mu$ : Efecto constante denominado media global;  $(A)_i$  : Efecto producido por el nivel i-ésimo del factor A;  $(B)_j$  : Efecto producido por el nivel j-ésimo del factor B y  $(AB)_{ij}$  : Efecto producido por la interacción entre A×B.

### **3.4.3 Determinación de pérdida de peso**

Se tomó al azar un fruto por unidad experimental y se le midió el peso diario hasta madurez de consumo con una balanza marca OHAUS, modelo Traveler TA1501. Se calcularon las pendientes resultantes de dos periodos de almacenamiento, durante refrigeración y después de refrigeración; como indicador del comportamiento fisiológico del fruto.

#### **3.4.4 Determinación de color**

El color fue determinado externamente en dos puntos opuestos de la parte ecuatorial del fruto; e internamente en una mezcla de la pulpa de aguacate utilizando un colorímetro MiniScan XE Plus (HunterLab, serie 5348, EE. UU.). El reporte del equipo brindó valores de luminosidad ( $L^*$ ), a y b. Con estos valores y de acuerdo a lo propuesto por McGuire (1992), se calcularon los valores del índice de saturación de color ( $C^*$ ) y el ángulo de tono ( $h^\circ$ ) en pulpa y  $C^*$  en cáscara.

#### **3.4.5 Determinación de la firmeza**

La firmeza se determinó en madurez de consumo a los frutos en un Texture Analyser TA-XT2i Serie 3834 Modelo XT2i, (Stable Micro System, UK) utilizando una distancia de penetración de 0.005 m. Los resultados se expresaron como fuerza de compresión (N).

#### **3.4.6 Preparación del material biológico**

La pulpa y cáscara del fruto se fraccionaron y liofilizaron después de inmersión en nitrógeno líquido, en madurez de consumo, tres días después de finalizado cada tratamiento.

#### **3.4.7 Determinación del índice de acidez**

Se extrajo el aceite de 5 g de pulpa base seca por maceración en 100 mL de hexano durante 48 h. La fase líquida separó el residuo sólido y se colocó en un rotaevaporador para posteriormente recolectar el aceite en frascos de vidrio. Finalmente, el índice de acidez se determinó al aceite de acuerdo a la metodología de la norma mexicana NMX-F-101-SCFI-2012 (SE, 2012).

#### **3.4.8 Extracción de compuestos polifenólicos**

La extracción de los compuestos fenólicos se realizó con la metodología reportada por Rodríguez-Carpena *et al.* (2011) con modificaciones. Se extrajeron 1 g de pulpa o 0.5 g de cáscara base seca en 15 mL de acetona/agua (70:30 v/v).

Las muestras se agitaron a 3000 rpm por 3 min en vórtex para posteriormente someterse a ultrasonido por 15 minutos. Se congelaron a  $-4^{\circ}\text{C}$  por 15 min y se centrifugaron a 360 fuerzas g. El sobrenadante se filtró y se repitió la extracción una vez más. Los sobrenadantes se juntaron y se aforaron a 25 mL.

#### **3.4.9 Contenido de flavonoides totales**

Para la determinación de los flavonoides contenidos en la pulpa y cáscara de aguacate se mezclaron 0.5 mL del extracto con 2.5 mL de agua y 0.15 mL de  $\text{NaNO}_2$  al 5%. Seis minutos después se añadieron 0.3 mL  $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  al 10% y se dejó reaccionar por 5 minutos. Finalmente se agregó 1 mL de  $\text{NaOH}$  al 5% y se mezcló en vórtex a 3000 rpm durante 3 min. Se colocaron 0.2 mL de cada reacción en una microplaca y se realizó una lectura a 510 nm. Los resultados se expresaron en miligramos de catequina por gramo de peso seco ( $\text{mg EC} \cdot \text{g}^{-1}_{\text{p.s.}}$ ) (Kubola & Siriamornpun, 2011).

#### **3.4.10 Determinación de la actividad antioxidante**

La actividad antioxidante se determinó mediante dos metodologías: el ensayo del Poder antioxidante férrico reductor (FRAP) y el ensayo de decoloración del radical 2,2'-azino-di (3-etilbenzotiazolina-6-ácido-sulfónico) ( $\text{ABTS} \bullet^+$ ).

El método FRAP se realizó de acuerdo a lo establecido por Benzie & Strain (1996) acoplado a microplacas. Se prepararon disoluciones de buffer de acetatos 300 mM pH 3.6, TPTZ 10 mM en HCl 40 mM y  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  y se mezclaron en proporción 10:1:1, respectivamente, formando la disolución FRAP. Para la determinación de la actividad en la muestra, se colocaron 20  $\mu\text{L}$  del extracto, 180  $\mu\text{L}$  de la disolución FRAP y 60  $\mu\text{L}$  de agua. Después de 10 min, se midió la absorbancia 595 nm. Se elaboró una curva patrón con Trolox y se reportaron los resultados en milimoles equivalentes de trolox por gramo de peso seco ( $\text{mmol ET g}^{-1}_{\text{p.s.}}$ ).

Por otra parte, el método ABTS se realizó de acuerdo a lo propuesto por Re *et al.* (1999), acoplado a microplacas. Se prepararon disoluciones del reactivo ABTS

7.4 mM y persulfato de sodio 2.6 mM; se mezclaron en proporción 1:1 y se incubaron 16 h a temperatura ambiente en ausencia de luz. Se tomaron 600  $\mu\text{L}$  de la mezcla y se aforó a 10 mL con metanol puro para obtener la disolución  $\text{ABTS}^{\cdot+}$ . Se verificó que la absorbancia del reactivo a 734 nm se encontrara entre 0.7-1.2. Para determinar la actividad antioxidante se elaboró una curva de Trolox y a 20  $\mu\text{L}$  las muestras se les agregó 180  $\mu\text{L}$  de disolución  $\text{ABTS}^{\cdot+}$ . Los resultados se expresaron en milimoles equivalentes de trolox por gramo de peso seco ( $\text{mmol ET g}^{-1}_{\text{p.s.}}$ ).

### 3.4.11 Análisis estadístico

En el software estadístico SAS 9.0, se efectuaron análisis de varianza y pruebas de comparación de medias de Tukey ( $\alpha=0.05$ ) a las variables estudiadas.

## 3.5 Resultados y discusión

Los frutos cosechados se pueden clasificar de acuerdo a la norma NMX-FF-016 dentro del calibre canica, que corresponde a frutos pequeños menores a 85 g. Su forma alargada permite que no se rueden, además de que tienen una buena proporción de pulpa en relación con el peso del hueso (Cuadro1).

Cuadro 1. Características físicas de frutos de aguacate criollo de raza mexicana almacenados por diferentes periodos y temperatura.

Característica física	
Peso de fruto (g)	76.55 $\pm$ 1.60
Proporción pulpa hueso	3.37 $\pm$ 0.56
Diámetro ecuatorial (mm)	45.90 $\pm$ 0.78
Diámetro polar (mm)	69.73 $\pm$ 1.74
Índice de forma	0.66 $\pm$ 0.01

### 3.5.1 Determinación de pérdida de peso

Los frutos almacenados a bajas temperaturas muestran dos comportamientos en esta variable, uno durante el periodo de refrigeración y otro en los días posteriores.

La Figura 2 muestra la pérdida de peso a través del tiempo, donde se observa un cambio de pendiente al momento de finalizar su tratamiento a bajas temperaturas y comenzar su almacenamiento a temperatura ambiente hasta madurez de consumo.

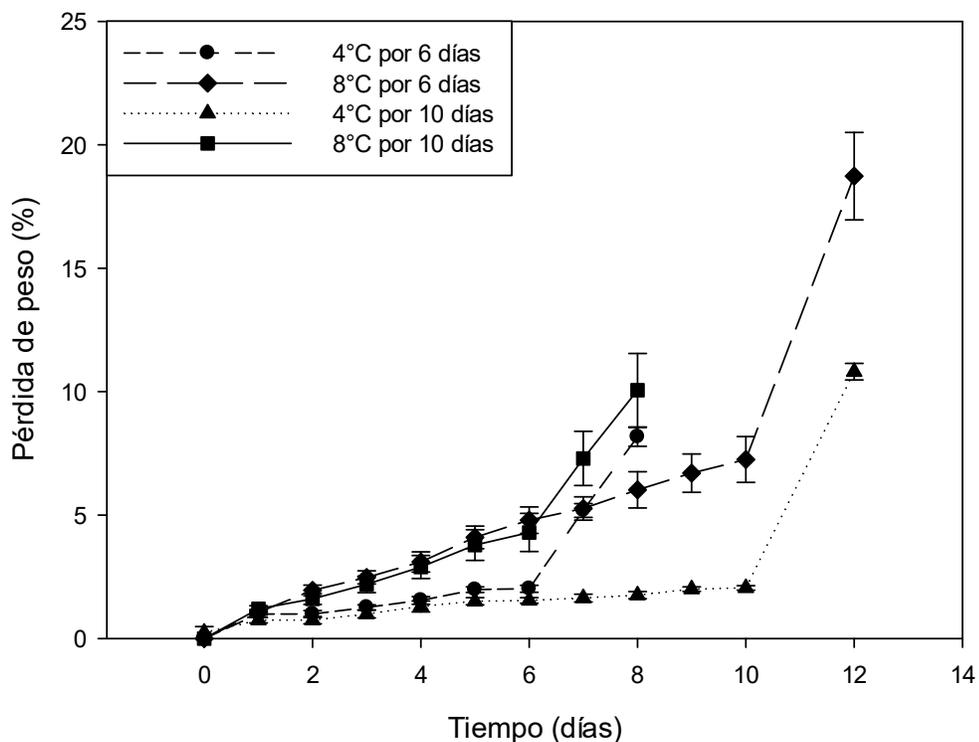


Figura 2. Pérdida de peso acumulada (%) en frutos de aguacate criollo de raza mexicana almacenados por diferentes periodos y temperatura.

Los resultados son mayores a los observados en “Hass” por (Osuna García *et al.*, 2017) quienes almacenaron frutos a 6°C por 7 días y luego fueron colocados a 22 °C hasta madurez de consumo obteniendo pérdidas durante la refrigeración con valores de pérdida acumulada de peso entre 1.2 y 2.5 %. Esta diferencia se puede deber a que la cáscara del aguacate Hass es más gruesa que la del aguacate criollo raza mexicana. Por otra parte, un comportamiento similar es

observado en el estudio de Pérez *et al.* (2004) quienes almacenaron aguacate Hass a 10 °C por 23 días (3%) y 5 días más a 20 °C (3%). Este incremento en la pérdida de peso después del almacenamiento en frío se puede deber a un daño en la estructura de la epidermis, lo que incrementa la transpiración del fruto y por lo tanto, la pérdida de peso (Glowacz *et al.*, 2017).

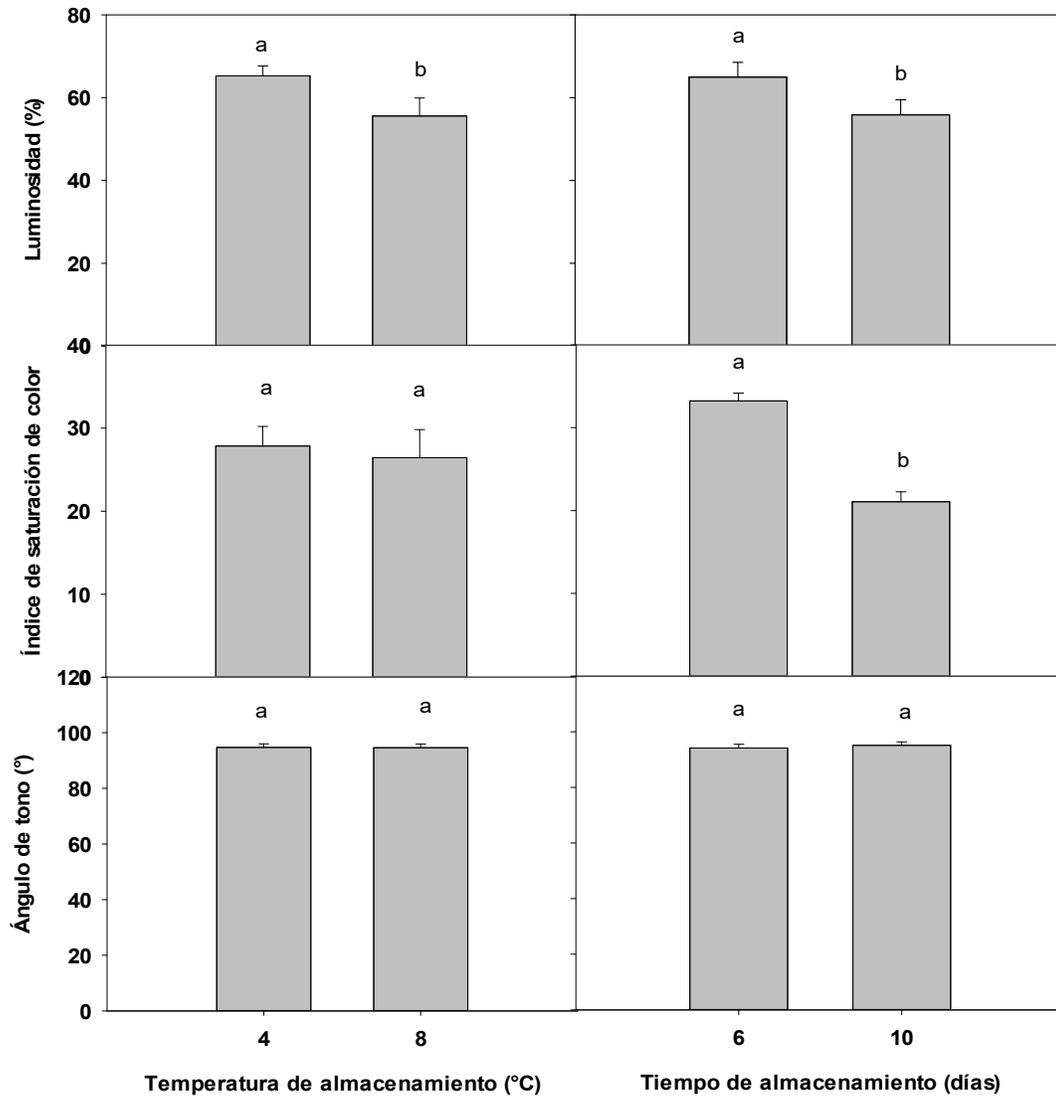
En el Cuadro 2 se muestran las pendientes que indican el comportamiento de la pérdida de peso como efecto de cada tratamiento durante el periodo de almacenamiento en frío y posterior a éste hasta madurez de consumo. Existe un efecto significativo causado por la interacción de los factores en el comportamiento del peso durante el almacenamiento a bajas temperaturas, entre mayor es la temperatura y el tiempo de almacenamiento, la pérdida de peso es mayor. Esto se puede explicar ya que existe una relación termodinámica entre la humedad, temperatura y presión ambiental, con las mismas condiciones en el producto (Luna-Ramírez *et al.*, 2014).

Cuadro 2. Comportamiento de peso durante y después del almacenamiento a bajas temperaturas.

Tratamiento	Durante el almacenamiento	Después del almacenamiento
4°C por 6 días	0.4600±0.1671	2.8411±0.6260
4°C por 10 días	2.3053±0.4944	5.8433±0.4207
8°C por 6 días	1.7392±0.5606	4.8801±0.7957
8°C por 10 días	0.8968±0.4114	5.2110±0.6534

### 3.5.2 Determinación de color

La Figura 3 muestra el comportamiento de los parámetros L\*, el C\* y h° evaluados en la pulpa de aguacate criollo raza mexicana ante la temperatura y el tiempo de almacenamiento. Ninguno de estos parámetros presentó interacciones. L\* mostró diferencias estadísticas significativas por temperatura (p=0.0258) y tiempo (p=0.0325), C\* por tiempo (p < 0.0001), mientras h° no mostró diferencias estadísticas significativas.



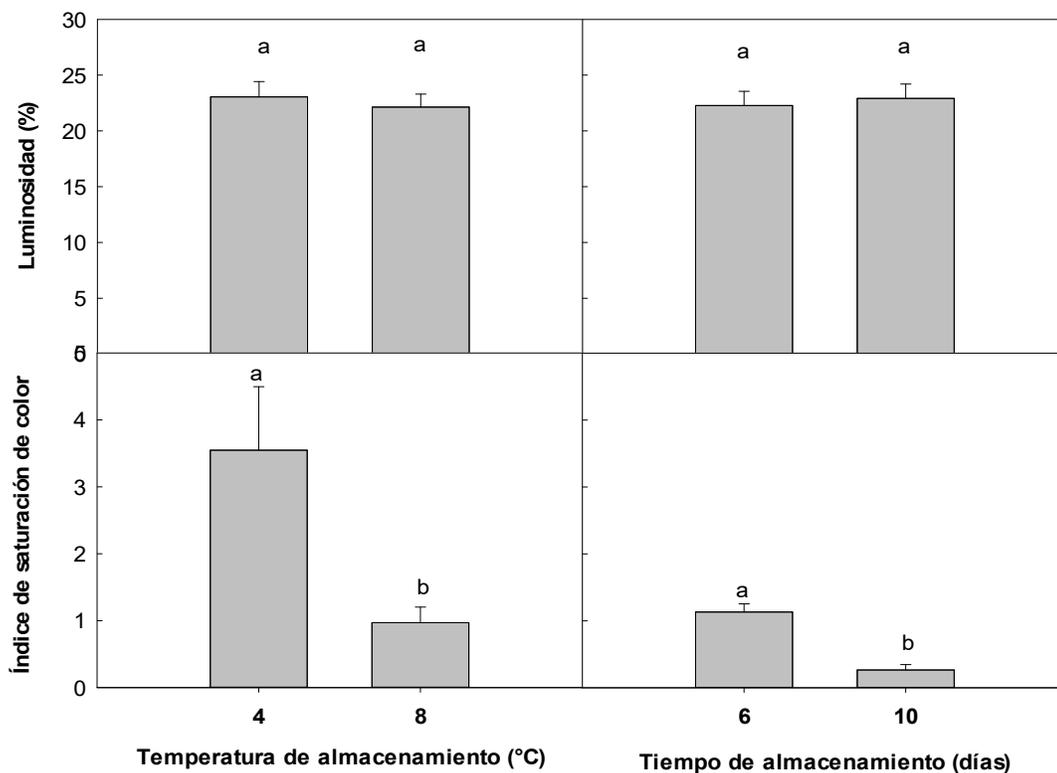
\*Medias con distintas letras son estadísticamente diferentes ( $p \leq 0.05$ ). La barra representa el error estándar.

Figura 2. Luminosidad ( $L^*$ ), índice de saturación ( $C^*$ ) y ángulo de tono ( $h^\circ$ ) en pulpa de aguacate criollo de raza mexicana almacenados por diferentes periodos y temperatura.

Los valores de  $L^*$  en pulpa fluctuaron entre 47.61 y 71.3%, valores similares a los reportados por Cenobio-Galindo *et al.* (2019) en pulpa de aguacate Hass evaluados durante postcosecha de 0 a 60 días (55.94-77.42%) y a los de Ahmed *et al.* (2010) quienes evaluaron el proceso de maduración de aguacate Fuerte encontrando una disminución de  $L^*$  con el paso del tiempo de almacenamiento. El índice de saturación es significativamente mayor cuando se almacena por

menos tiempo, lo cual es deseado, ya que indica una mayor pureza de color. Los resultados de  $C^*$  son similares a los reportados por Salgado-Cervantes *et al.* (2019), quienes evaluaron puré de aguacate Hass obteniendo valores entre 28.09 y 38.39 en este parámetro.

En lo que corresponde a cáscara, los parámetros de luminosidad e índice de color se encuentran en la Figura 4. En cuanto a la  $L^*$ , no se encontraron diferencias estadísticas significativas. Los valores de  $L^*$  observados fueron similares a los encontrados por Cenobio-Galindo *et al.* (2019) en frutos de aguacate Hass almacenados por 60 días ( $22.66 \pm 0.67$ ).



\*Medias con distintas letras son estadísticamente diferentes ( $p \leq 0.05$ ). La barra representa el error estándar.

Figura 4. Luminosidad ( $L^*$ ) e índice de saturación de color ( $C^*$ ) en cáscaras de aguacate criollo de raza mexicana almacenados por diferentes periodos y temperatura.

Se encontró una interacción entre los factores en  $C^*$  ( $p=0.0005$ ), donde a menor temperatura y menor tiempo de almacenamiento se tiene un mayor índice de

saturación de color. Esto se debe probablemente a que el  $C^*$  disminuye mientras la maduración del fruto incrementa (Cox *et al.*, 2004). Estos valores son menores a los reportados por Hofman & Jobin-Decor (1999) en Hass (5-8) quienes midieron la influencia de la posición del fruto en el árbol y la semana de cosecha en la calidad del mismo.

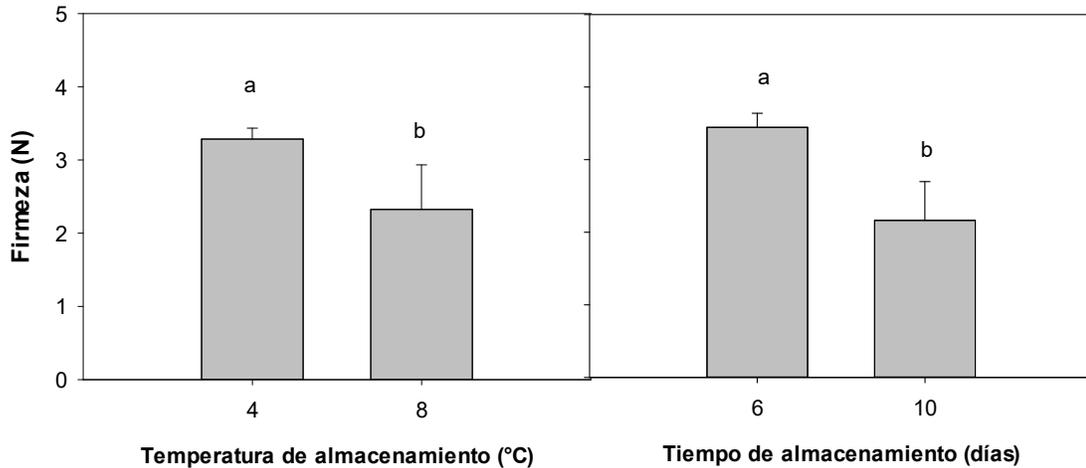
### **3.5.3 Determinación de la firmeza**

La Figura 5 muestra el comportamiento de la firmeza en los frutos de aguacate criollo raza mexicana ante la temperatura y el tiempo. La firmeza de los frutos fue significativamente afectada por la interacción de temperatura y tiempo ( $p=0.0059$ ). Frutos almacenados a menor temperatura y durante menor tiempo mostraron mayor firmeza. Esto es consistente con lo reportado por quienes observaron que la firmeza del aguacate Hass disminuye con el paso del tiempo (Alamar *et al.*, 2017). Los valores encontrados son menores a los reportados por Arpaia *et al.* (2015) quienes observaron una firmeza en frutos de Hass en madurez de consumo de 4.4-6.7 N, después de ser refrigerados a 5 y 12 °C por 4 y 14 días.

### **3.5.4 Determinación del índice de acidez**

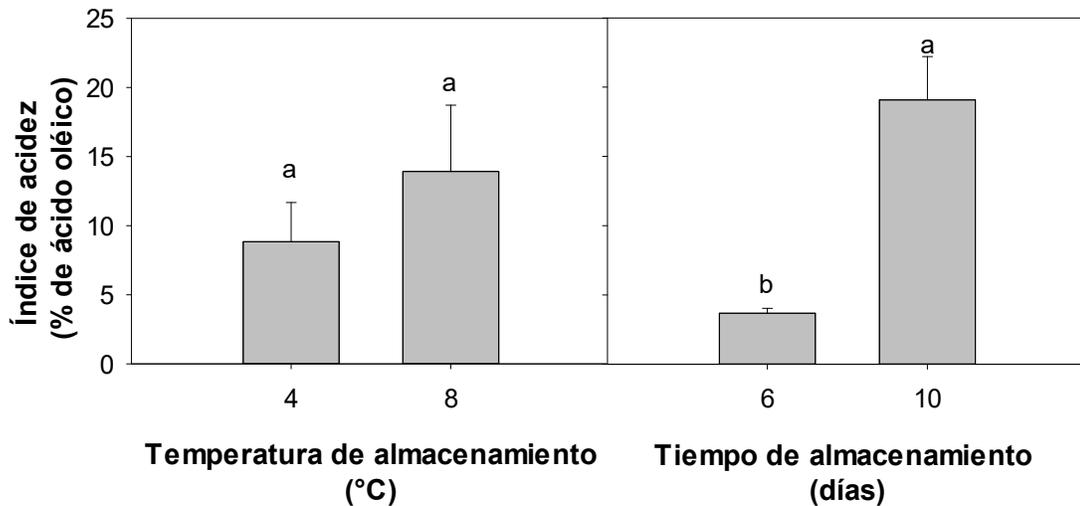
El índice de acidez fue significativamente afectado por los factores temperatura y tiempo ( $p \leq 0.05$ ) (Figura 6). Se encontraron efectos de las interacciones de estos factores en este parámetro. Entre mayor es la temperatura de almacenamiento y más tiempo se almacena, mayor es el índice de acidez, lo cual es algo no deseado, ya que un alto índice de acidez indica el inicio de reacciones de degradación.

Los valores encontrados son mayores a los reportados por Castañeda-Antonio *et al.* (2015) que encontraron un índice promedio de  $0.6400 \pm 0.2\%$  en aceite de aguacate criollo mexicano extraído por centrifugación con solventes. Esta diferencia se puede deber al método de extracción empleado (Restrepo *et al.*, 2012) y a la alta variabilidad genética de este fruto (Corrales-García & Méndez-Zúñiga, 2020).



\*Medias con distintas letras son estadísticamente diferentes ( $p \leq 0.05$ ). La barra representa el error estándar.

Figura 5. Firmeza (N) de frutos de aguacate criollo de raza mexicana almacenados por diferentes periodos y temperatura.



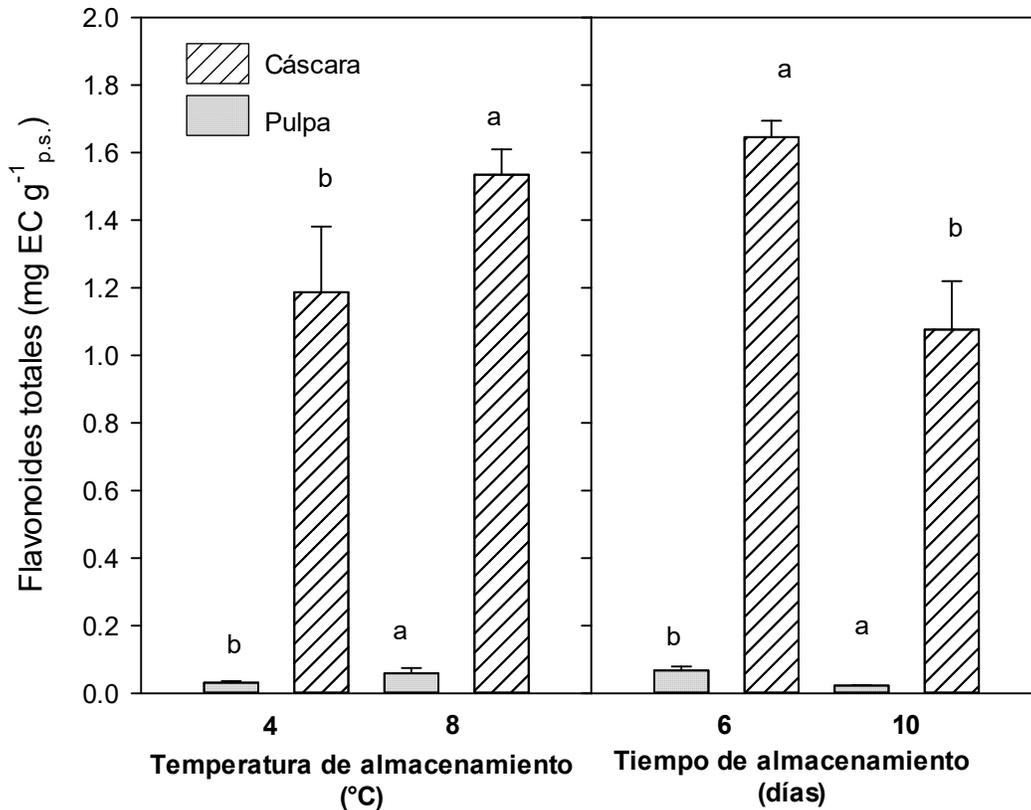
\*Medias con distintas letras son estadísticamente diferentes ( $p \leq 0.05$ ). La barra representa el error estándar.

Figura 6. Índice de acidez (% de ácido oleico) de aceites de pulpas de aguacate criollo de raza mexicana almacenados por diferentes periodos y temperatura.

### 3.5.5 Contenido de flavonoides totales

La respuesta del contenido de flavonoides totales en pulpa y cáscara de aguacates criollos raza mexicana ante la temperatura y tiempo de almacenamiento se muestra en la Figura 7. Se encontraron interacciones de

ambos factores en el contenido de flavonoides en pulpa ( $p < 0.0001$ ) y en el de cáscara ( $p = 0.0013$ ).



\*Medias de barras iguales con distintas letras son estadísticamente diferentes ( $p \leq 0.05$ ). La barra representa el error estándar.

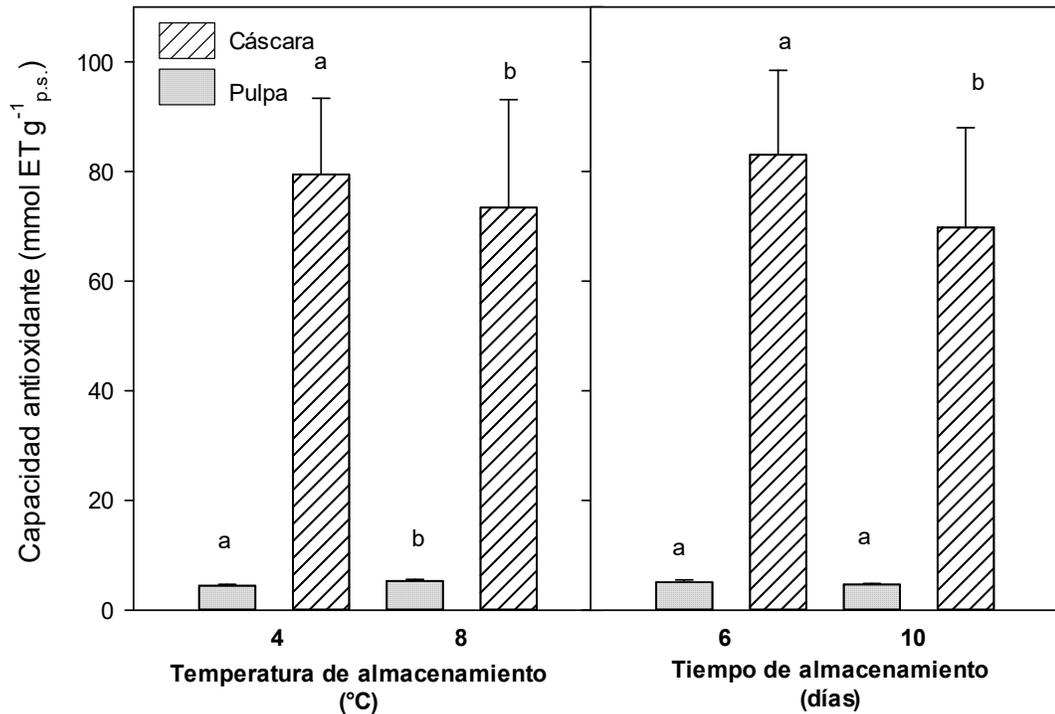
Figura 7. Flavonoides totales (mg de EC g<sup>-1</sup> p.s.) de cáscara y pulpa de frutos de aguacate criollo de raza mexicana almacenados por diferentes periodos y temperatura.

Los valores obtenidos en la pulpa son similares a los reportados por Vinha *et al.* (2013) en aguacate Hass almacenado a 4 °C, pero mucho mayores a los reportados en cáscara. Al mismo tiempo, La diferencia se puede deber a que cada flavonoide responde de diferente manera a la temperatura y tiempo de almacenamiento (Bai *et al.*, 2013), además se debe de considerar que el contenido de estos compuestos depende del genotipo, estado de madurez, condiciones de campo y manejo poscosecha (Kałużewicz *et al.*, 2012; Rodríguez-Carpena *et al.*, 2011).

### 3.5.6 Determinación de la actividad antioxidante

El método ABTS mostró una mayor sensibilidad que el método FRAP en las determinaciones realizadas en pulpa y cáscara de aguacate.

La Figura 8 muestra la capacidad antioxidante de la pulpa y cáscara de aguacate criollo mexicano por el método ABTS ante la temperatura y el tiempo de almacenamiento.



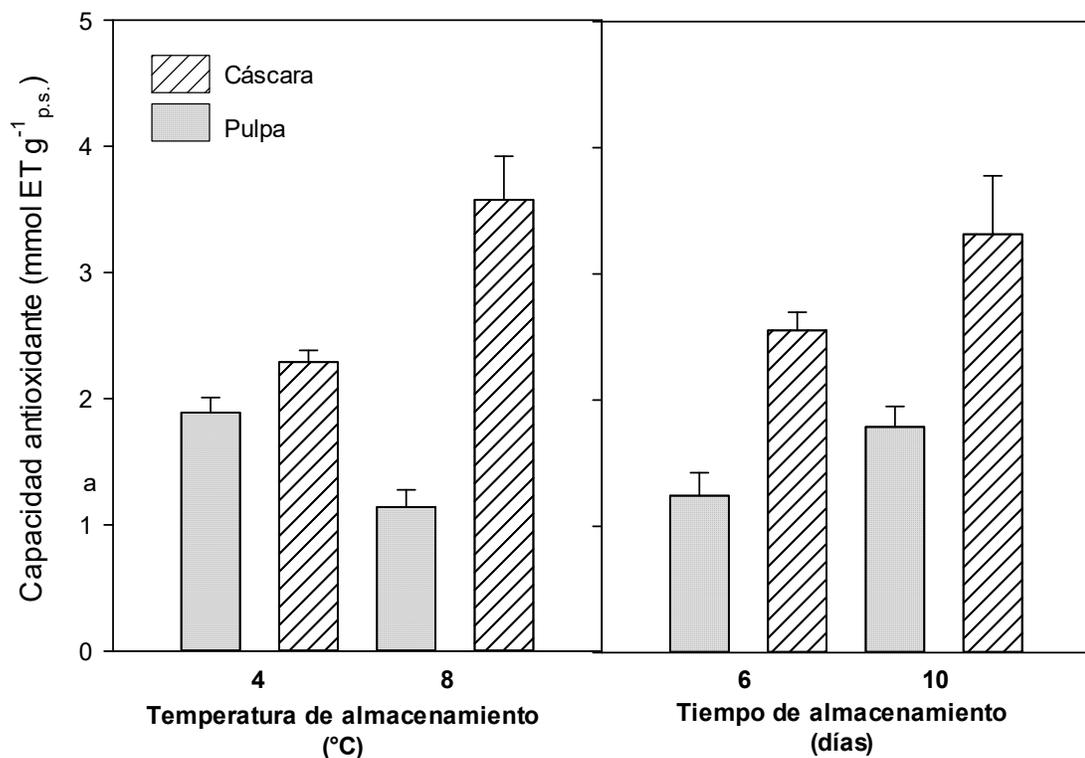
\*Medias de barras iguales con distintas letras son estadísticamente diferentes ( $p \leq 0.05$ ). La barra representa el error estándar.

Figura 8. Capacidad antioxidante ( $\text{mmol ET g}_{\text{p.s.}}^{-1}$ ) por el método ABTS, de pulpa y cáscara de frutos de aguacate criollo de raza mexicana almacenados por diferentes periodos y temperatura.

La capacidad antioxidante en pulpa por el método ABTS muestra interacciones entre ambos factores. La mayor capacidad se observa a 8 °C ( $5.3228 \pm \text{mmol de ET g}_{\text{p.s.}}^{-1}$ ) y la menor a 4 °C ( $4.4407 \pm \text{mmol de ET g}_{\text{p.s.}}^{-1}$ ), una menor temperatura y tiempo de almacenamiento muestran mayor capacidad antioxidante. Los valores

en pulpa son mayores a los reportados por Rodríguez-Carpena *et al.* (2011) y los de cáscara menores.

El método FRAP mostró valores menores a cinco mmol de  $\text{ET g}_{\text{p.s.}}^{-1}$  (Figura 9). La capacidad antioxidante en pulpa por el método FRAP no mostró interacciones, pero si efectos significativamente diferentes por temperatura ( $p < 0.0001$ ) y tiempo ( $p = 0.0002$ ). En cáscara, la actividad antioxidante por el método FRAP mostró interacciones en respuesta a los factores temperatura y tiempo de almacenamiento, al igual que por el método ABTS.



\*Medias de barras iguales con distintas letras son estadísticamente diferentes ( $p \leq 0.05$ ). La barra representa el error estándar.

Figura 9. Capacidad antioxidante ( $\text{mmol ET g}_{\text{p.s.}}^{-1}$ ) por el método FRAP, de pulpa y cáscara de frutos de aguacate criollo de raza mexicana almacenados por diferentes periodos y temperatura.

### 3.6 Conclusiones

Los resultados indican que la mayor temperatura y el mayor tiempo de refrigeración de los aguacates criollos raza mexicana influyen negativamente en las características nutracéuticas del fruto en madurez de consumo.

### **3.7 Agradecimientos**

Se agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología y a la Universidad Autónoma Chapingo por los recursos brindados para la realización del estudio.

### **3.8 Literatura citada**

Ahmed, D. M., Yousef, A. R., & Hassan, H. S. A. (2010). Relationship between electrical conductivity, softening and color of Fuerte avocado fruits during ripening. *Agriculture and Biology Journal of North America*, 1(5), 878-885.

Alamar, M. C., Collings, E., Cools, K., & Terry, L. A. (2017). Impact of controlled atmosphere scheduling on strawberry and imported avocado fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 134, 76-86.

Arpaia, M. L., Collin, S., Sievert, J., & Obenland, D. (2015). Influence of cold storage prior to and after ripening on quality factors and sensory attributes of 'Hass' avocados. *Postharvest Biology and Technology*, 110, 149-157.

Bai, J., Manthey, J. A., Ford, B. L., Luzio, G., Cameron, R. G., Narciso, J., & Baldwin, E. A. (2013). Effect of extraction, pasteurization and cold storage on flavonoids and other secondary metabolites in fresh orange juice. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 93(11), 2771-2781.

Barrientos-Priego, A. F., & López-López, L. (2000). Historia y genética del aguacate. In *El aguacate y su manejo integrado*. Mundi-Prensa (pp. 19–31).

Benzie, I. F. F., & Strain, J. J. (1996). The Ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of "Antioxidant Power": The FRAP assay. *Analytical Biochemistry*, 239, 70–76. <https://doi.org/10.1039/c6ay01739h>

Calderón-Oliver, M., Escalona-Buendía, H. B., Medina-Campos, O. N., Pedraza-Chaverri, J., Pedroza-Islas, R., & Ponce-Alquicira, E. (2016). Optimization

of the antioxidant and antimicrobial response of the combined effect of nisin and avocado byproducts. *LWT-Food Science and Technology*, 65, 46-52.

- Castañeda-Antonio, D., López-Varela, P., Guel-Silva, G., Ramos-Casellis, E., Ariza-Ortega, A., Carrera-Martínez, C. D., & Portillo-Reyes, R. (2015). Caracterización oxidativa de aceite aguacate hass y aceite de aguacate criollo (*P. americana* Mill. var. *drymifolia*). In *VIII Congreso Mundial de la Palta* (pp. 423-429).
- Cenobio-Galindo, A. D. J., Ocampo-López, J., Reyes-Munguía, A., Carrillo-Inungaray, M. L., Cawood, M., Medina-Pérez, G., ... & Campos-Montiel, R. G. (2019). Influence of bioactive compounds incorporated in a nanoemulsion as coating on avocado fruits (*Persea americana*) during postharvest storage: Antioxidant activity, physicochemical changes and structural evaluation. *Antioxidants*, 8(10), 500.
- Chanderbali, A. S., Soltis, D. E., Soltis, P. S., & Wolstenholme, B. N. (2013). Taxonomy and botany. *The Avocado: Botany, Production and Uses*, January, 31–50. <https://doi.org/10.1079/9781845937010.0031>
- Corrales-García, J., & Méndez-Zúñiga, S. (2020). Criollo avocado of mexican race (*Persea americana* var. *drymifolia*): an underutilized species in horticulture. November, 4–7. <https://doi.org/10.15406/hij.2020.04.00186>
- Cox, K. A., McGhie, T. K., White, A., & Woolf, A. B. (2004). Skin colour and pigment changes during ripening of 'Hass' avocado fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 31(3), 287-294.
- Díaz M., D. H. (2002). *Fisiología de árboles frutales*. Distrito Federal, México: Editorial AGT.
- Estrada-Reyes, R., Ubaldo-Suárez, D., & Araujo-Escalona, A. G. (2012). Los flavonoides y el sistema nervioso central. *Salud mental*, 35(5), 375-384.
- Glowacz, M., Bill, M., Tinyane, P. P., & Sivakumar, D. (2017). Maintaining postharvest quality of cold stored 'Hass' avocados by altering the fatty acids content and composition with the use of natural volatile compounds—

methyl jasmonate and methyl salicylate. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 97(15), 5186-5193.

Hofman, P. J., & Jobin-Decor, M. (1999). Effect of fruit sampling and handling procedures on the percentage dry matter, fruit mass, ripening and skin colour of Hass' avocado. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 74(3), 277-282.

Hollman, P. H., & Katan, M. B. (1999). Dietary flavonoids: intake, health effects and bioavailability. *Food and chemical toxicology*, 37(9-10), 937-942.

Kałużewicz, A., Gliszczyńska-Świgło, A., Klimczak, I., Lisiecka, J., Tyrakowska, B., & Knaflewski, M. (2012). The influence of short-term storage on the content of flavonoids and vitamin C in broccoli. *Eur. J. Hortic. Sci*, 77, 137-143.

Kubola, J., & Siriamornpun, S. (2011). Phytochemicals and antioxidant activity of different fruit fractions (peel, pulp, aril and seed) of Thai gac (*Momordica cochinchinensis* Spreng). *Food Chemistry*, 127(3), 1138–1145. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.01.115>

Liu, Y. J., Zhan, J., Liu, X. L., Wang, Y., Ji, J., & He, Q. Q. (2014). Dietary flavonoids intake and risk of type 2 diabetes: a meta-analysis of prospective cohort studies. *Clinical Nutrition*, 33(1), 59-63.

Luna-Ramírez, J. C., Jiménez-Arenas, C., & Campos-Correa, N. D. (2014). Evaluación psicométrica de un deshidratador de bandeja para alimentos. *Alimentos Hoy*, 23(33), 26–39.

McGuire, R. G. (1992). Reporting of objective color measurements. *HortScience*, 27(12), 1254-1255.

NMX-FF-016-2002. Productos alimenticios no industrializados para uso humano - fruta fresca - aguacate (*Persea americana* Mill) –especificaciones

Osuna García, J. A., Nolasco González, Y., Herrera González, J. A., Guzmán Maldonado, S. H., & Álvarez Bravo, A. (2017). Influencia del clima y rugosidad sobre la tolerancia a refrigeración del aguacate 'Hass.' *Revista*

Mexicana de Ciencias Agrícolas, 19, 3911.  
<https://doi.org/10.29312/remexca.v0i19.660>

- Pérez, K., Mercado, J., & Soto-Valdez, H. (2004). Note. Effect of storage temperature on the shelf life of Hass avocado (*Persea americana*). *Food science and technology international*, 10(2), 73-77.
- Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M., & Rice-Evans, C. (1999). Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free radical biology and medicine*, 26(9-10), 1231-1237.
- Restrepo, D. A. M., Londoño-Londoño, J., González, A. D., Benavides, P. Y. Cardona, S. B. L. (2012). Comparación del aceite de aguacate variedad Hass cultivado en Colombia, obtenido por fluidos supercríticos y métodos convencionales: una perspectiva desde la calidad. *Revista Lasallista de investigación*, 9(2), 151-161.
- Rodríguez-Carpena, J. G., Morcuende, D., Andrade, M. J., Kylli, P., & Estévez, M. (2011). Avocado (*Persea americana* Mill.) phenolics, in vitro antioxidant and antimicrobial activities, and inhibition of lipid and protein oxidation in porcine patties. *Journal of agricultural and food chemistry*, 59(10), 5625-5635.
- SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo rural, P. y A. (2011). Monografía de cultivos. Aguacate.
- SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo rural, P. y A. (2017). Planeación agrícola nacional 2017-2030. Aguacate mexicano. In Planeación Agrícola Nacional 2017-2030. <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/257067/Potencial-Aguacate.pdf>
- Salgado-Cervantes, M., Adrien, S., Maraval, I., Vargas-Ortiz, M. & Dominique, P. (2019). Flash Vacuum-Expansion Process: Effect on the Sensory, Color

and Texture Attributes of Avocado (*Persea americana*) Puree. *Plant Foods for Human Nutrition*, 74(3), 370-375.

Sánchez, H. A., Cruz, G. M. A. & Teutli, L. M. (2019). Valoración ambiental del centro histórico de Atlixco, Puebla. *Regiones y Desarrollo Sustentable*, 19(37).

Vinha, A. F., Moreira, J., & Barreira, S. V. (2013). Physicochemical parameters, phytochemical composition and antioxidant activity of the algarvian avocado (*Persea americana* Mill.). *Journal of Agricultural Science*, 5(12), 100.

