



UNIVERSIDAD AUTONOMA CHAPINGO

DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA MAESTRÍA EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

VALOR NUTRACÉUTICO DE GENOTIPOS DE AGUACATE (*Persea americana* Mill.)

TESIS

Que como requisito parcial
para obtener el grado de:
MAESTRO EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

Presenta:

JESÚS LUGO ESPINOSA



APROBADA



Bajo la supervisión de: **DRA. MARÍA TERESA MARTÍNEZ DAMIÁN**



Chapingo, estado de México.

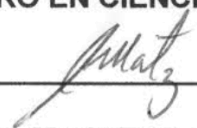
Mayo, 2022.

VALOR NUTRACÉUTICO DE GENOTIPOS DE AGUACATE (*Persea americana* Mill.)

Tesis realizada por **Jesús Lugo Espinosa** bajo la supervisión del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

DIRECTORA:


Dra. María Teresa Martínez Damián

ASESOR:


Dr. Alejandro Facundo Barrientos Priego

ASESORA:


Dra. María del Rosario García Mateos

CONTENIDO

1 INTRODUCCIÓN GENERAL	1
2 REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1 Aguacate, origen y botánica.	3
2.2 Variedades mejoradas.....	5
2.3 Producción mundial de aguacate	6
2.3.1 Exportaciones.....	6
2.3.2 Importaciones.....	7
2.4 Producción nacional de aguacate.....	8
2.5 Los alimentos nutraceuticos	9
2.6 Los antioxidantes.....	10
2.6.1 Métodos para determinar actividad antioxidante	11
2.6.2 Estudios de actividad antioxidante en aguacate.....	12
2.7 Carotenoides	13
2.7.1 Los carotenoides en la salud humana.....	14
2.7.2 Luteína	15
2.7.3 Determinación de Luteína y zeaxantina en Aguacate	17
2.8 La vitamina E y la salud.....	18
2.9 El β -caroteno y la salud	20
2.10 Literatura citada	22
3. CALIDAD Y VALOR NUTRACÉUTICO DE GENOTIPOS DE AGUACATE.....	
(<i>Persea americana</i> Mill.)	29

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Características de las tres principales razas de aguacate (<i>P. americana</i>) usadas en mejoramiento genético.	4
Cuadro 2. Origen genético y características de diversos cultivares comerciales de aguacate (<i>Persea americana</i>).....	5

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Principales países y valor de las exportaciones expresadas en millones de dólares (mdd) a través de los años.....	7
Figura 2. Principales países y valor de las exportaciones expresadas en millones de dólares (mdd) a través de los años. Elaboración propia de datos obtenidos de Observatory of Economic Complexity (OEC)	8
Figura 3. Producción expresada en miles de Ton y valor en millones de pesos obtenido del aguacate a través de los años en México. Todos los datos provienen del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP).	9
Figura 4. Estructura general de los tocoferoles y acomodo de las cadenas principales en cada uno de ellos.....	18
Figura 5. Ruta metabólica para producir retinol(Vitamina A) a partir de β -caroteno.Tomado de Green & Fascetti, 2016.	21

DEDICATORIA

A mis padres: **Sofia Espinosa Moreno y Jesús Lugo Arredondo**

A mi hermano: **Arturo Lugo Espinosa**

A mis amigos y compañeros que me dieron la energía para seguir adelante a pesar de la adversidad.

AGRADECIMIENTOS

A la **Doctora María Teresa Martínez Damián**, quien dirigió el presente trabajo de titulación y que ha contribuido en gran medida a mi formación profesional.

A la **Doctora María del Rosario García Mateos**, que se involucró con en la pasión y paciencia en la presente investigación.

Al **Doctor Alejandro Facundo Barrientos Priego**, asesor del presente trabajo, por su amplia disponibilidad y atenciones durante el proceso de investigación.

Así mismo agradezco al **M.C. Rubén San Miguel Chávez** y la **Licenciada Itzel Nayelli Silvestre González** por los apoyos brindados durante la fase de análisis en laboratorio.

A la Fundación Salvador Sánchez Colín-**CICTAMEX, S. C. campo la “Labor”**, por su disponibilidad y apoyo en la fase de colecta de genotipos.

A los profesores y a la Coordinación de Posgrado del Departamento de Fitotecnia de la Universidad Autónoma Chapingo.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por el apoyo económico para realizar mis estudios de maestría.

DATOS BIBLIOGRÁFICOS

Datos Personales:

Nombre: Jesús Lugo Espinosa

Fecha de nacimiento: 30 de noviembre 1992

Lugar de nacimiento: Iztapalapa, Ciudad de México.

CURP: LUEJ921130HDFGSS01

Profesión: Ingeniero Agrónomo especialista en Fitotecnia

Cedula profesional: 10734366



Desarrollo académico

Bachillerato: Escuela Preparatoria Oficial Anexa a la Normal de Texcoco. 2007-2010

Licenciatura: Universidad Autónoma Chapingo, Ingeniería Agronómica Especialista en Fitotecnia. 2011-2016.

RESUMEN GENERAL

VALOR NUTRACÉUTICO DE GENOTIPOS DE AGUACATE (*Persea americana* Mill.)

El aguacate (*Persea americana* Mill.) es una fruta rica en ácidos grasos monoinsaturados, tocoferoles, ácido ascórbico, carotenoides (β -caroteno y luteína), entre otros compuestos. Dichos componentes reducen el riesgo de enfermedades cardiovasculares y actúan como agentes antioxidantes. En los últimos años se ha evaluado su valor nutracéutico, aunque solo se ha realizado en cultivares comerciales como 'Hass'. Por lo cual se colectaron selecciones provenientes de 'Hass' x 'Pionero' (HxP) y sus segundas generaciones filiales (F2), con el objetivo de hacer una valoración nutracéutica (vitamina E, clorofilas carotenoides, luteína, β -caroteno y actividad antioxidante); además de aspectos físicos y sensoriales como: tamaño, peso, color de pulpa y de cáscara, calidad externa e interna del fruto, sabor y fibrosidad. Se observó que las selecciones HxP96, Hxp40, HxP38, F2/29 y F2/68 presentaron apariencia externa y sabor comparable a 'Hass'. Además, se encontró que algunas selecciones tuvieron altas concentraciones de luteína (F2/68 y F2/405), β -caroteno (F2/27 y F2/29) y α -tocoferol (HxP40 y F2/114). Mientras que otras selecciones como HxP40, HxP96, F2/249 y F2/405 podrían considerarse como materia prima en la agroindustria de los aceites, puesto que presentaron las mayores concentraciones de aceite en el mesocarpio.

Palabras clave: variables físicas, α -tocoferol, β -caroteno, luteína, selecciones.

¹Tesis de Maestría en Ciencias en Horticultura. Universidad Autónoma Chapingo

Autor: Jesús Lugo Espinosa

Director de Tesis: María Teresa Martínez Damián

Tesis de Maestría en Ciencias en Horticultura. Universidad Autónoma Chapingo

GENERAL ABSTRACT

NUTRACEUTICAL VALUE OF AVOCADO GENOTYPES (*Persea americana* Mill.)

Avocado (*Persea americana* Mill.) is a fruit rich in monounsaturated fatty acids, tocopherols, ascorbic acid, carotenoids (β -carotene and lutein), among other compounds. These components reduce the risk of cardiovascular diseases and act as antioxidant agents. In recent years, its nutraceutical value has been evaluated, although it has only been done on commercial cultivars such as 'Hass'. Therefore, selections from 'Hass' x 'Pionero' (HxP) and their second subsidiary generations (F2) were collected, with the aim of making a nutraceutical assessment (vitamin E, carotenoid chlorophylls, lutein, β -carotene and antioxidant activity); in addition to physical and sensory aspects such as: size, weight, color of pulp and shell, external and internal quality of the fruit, flavor and fibrousness. It was observed that the selections HxP96, Hxp40, HxP38, F2/29 and F2/68 presented external appearance and flavor comparable to 'Hass'. In addition, some selections were found to have high concentrations of lutein (F2/68 and F2/405), β -carotene (F2/27 and F2/29), and α -tocopherol (HxP40 and F2/114). While other selections such as HxP40, HxP96, F2/249 and F2/405 could be considered as raw material in the oil agroindustry, since they presented the highest concentrations of oil in the mesocarp.

Keywords: physical variables, α -tocopherol, β -carotene, lutein, selections.

2

Thesis: de Maestría en Ciencias en Horticultura. Universidad Autónoma Chapingo
Author: Jesús Lugo Espinosa
Advisor: María Teresa Martínez Damián

1 INTRODUCCIÓN GENERAL

La demanda del mercado de aguacate ha crecido de manera alarmante en los últimos años, en 2017 la producción mundial de aguacate estuvo cerca de los 6 M de t, destacando México como el mayor productor con 34 % de la producción mundial total con más de 2 M de t., siendo el estado de Michoacán el líder indiscutible a nivel nacional tanto en el rubro de producción, como en superficie cultivada. En 2017 Michoacán aportó 84 % del volumen acumulado, seguido por Jalisco y del Estado de México (SIAP, 2017), donde se cultivan las variedades 'Hass', 'Fuerte' y algunas especies de criollo, siendo la más importante la primera por cultivarse en todas las zonas productoras del país.

Esto se debe a la amplia aceptación del fruto por parte de los consumidores de todo el mundo, no solo por su excelente sabor, sino también por ser una de las pocas frutas cuyo componente principal son lípidos, desde el punto de vista nutricional es un fruto altamente calórico debido a su alto contenido de ácidos grasos monoinsaturados (AGMI), además de ser rico en tocoferoles, ácido ascórbico, piridoxina, β -caroteno y potasio (Ozdemir & Topuz, 2004). Dichos componentes tienen diversos efectos benéficos en el cuerpo humano, ya que puede contribuir a reducir el riesgo de enfermedades cardiovasculares, actuar como agentes antioxidantes e incluso (en el caso de luteína y zeaxantina) ayudar a disminuir la incidencia de cataratas o problemas relacionados con la pérdida de la vista (Gurr, 1992; Mares-Perlman et al., 2002; Bernstein et al., 2001). Estos beneficios hacen que se pueda considerar al aguacate como un alimento funcional o nutracéutico, el cual es un alimento (o parte de este) que proporciona beneficios a la salud, que incluye la prevención y/o tratamiento de una enfermedad. Por lo cual, el consumo de alimentos funcionales se ha hecho tan frecuente que es común observar personas que prefieren el reemplazo de la terapéutica occidental por el uso de nutracéuticos (Albright et al., 2012).

A pesar de esto, la investigación de la presencia de estos compuestos, se ha concentrado principalmente en las variedades de mayor demanda comercial de

aguacate, dejando de lado la gran diversidad de materiales que existen en todo México, siendo únicamente valorados por instituciones dedicadas a la conservación y desarrollo de materiales nuevos de aguacate, como la Fundación Salvador Sánchez Colín-CICTAMEX, S. C., que buscan características deseables en recolectas o cruza de variedades regionales. Ya que puede ser que se encuentren materiales con mayor vida postcosecha, mejor sabor o con mayor cantidad de sustancias benéficas como aceites, tocoferoles o carotenoides (zeaxantina, luteína, etc.).

Uno de los materiales que lleva varios años evaluándose es 'Pionero' una selección de una progenie de 'Colín V-33' que puede tener un posible uso en la industria del aceite y guacamole. Esta variedad se ha establecido y cruzado con la variedad Hass, para obtener materiales nuevos, los cuales deben ser evaluados para determinar si tienen algún futuro comercial (Barrientos-Priego, 2017). Por esta razón, el objetivo de este estudio fue determinar algunas características nutraceuticas como el perfil de ácidos grasos, tocoferoles y algunos carotenoides (luteína y β -caroteno). Además de algunos aspectos físicos y sensoriales: tamaño, peso, color de cáscara, calidad externa e interna del fruto, sabor y fibrosidad.

2 REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Aguacate, origen y botánica.

El aguacate (*Persea americana* Mill.) pertenece a la familia Lauraceae, es originario de América Central y México, donde ha sido un componente dietético básico durante al menos 9000 años (Chen et al., 2009), aunque algunos autores ubican su domesticación en por lo menos 10,000 años, ya que se encontraron restos arqueológicos de esta especie en Coxcatlán, Puebla en México (Galindo-Tovar et al., 2008). La familia laurácea a la que pertenece es muy variable, con alrededor de 50 géneros descritos y un número indeterminado de especies que van desde 2500 a 3000, distribuidas principalmente en las regiones tropicales y subtropicales de todo el mundo. El nombre aguacate se deriva de la palabra náhuatl, ahuacatl, que significa “testículo”, haciendo referencia a la forma del fruto, que era considerado por los aztecas como el fruto de la fertilidad. El consumo de este fruto y su dispersión lograron que el aguacate se distribuyera prácticamente en todo el continente antes de la llegada de los españoles.

El árbol se considera de hoja perenne, a pesar de que las hojas presentan una longevidad corta, que no supera los 12 meses. Se caracteriza por un rápido crecimiento alcanzando alturas de hasta 20 m, posee raíces poco profundas que tienen poca captación de agua. Los árboles prefieren climas mediterráneos o tropicales y altitudes de 1500 m sobre el nivel del mar. Los árboles producen grandes cantidades de flores, por lo general menos del 0.1 % de estas flores dan frutos, esto se debe a algunos factores climáticos como la ocurrencia de heladas en invierno o a temperaturas extremadamente altas en el momento del cuajado de fruto (Carr, 2013). El fruto varía en tamaño, color y forma, utilizándose para el consumo directo, así como para la elaboración de diversos productos, entre ellos aceite y cosméticos (Schaffer et al., 2013). *P. americana* es una especie muy diversa y existen variaciones locales que han dado como resultado distintas razas o variedades ecológicas, que presentan características típicas en cuanto a

periodo de floración, hojas, frutos, época de cosecha, etc. Se destacan tres razas, las cuales se presentan en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Características de las tres principales razas de aguacate (*P. americana*) usadas en mejoramiento genético.

Raza	Características	Referencia
Guatemalteca	Es originario del altiplano guatemalteco. El árbol tiene una resistencia media a la salinidad y al frío. Su época de floración es de marzo a abril, teniendo un periodo de flor a fruto de entre 10-18 meses. El fruto puede variar de pequeño a grande con forma mayormente redonda y cáscara rugosa, flexible y no granular. Su pulpa tiene un alto contenido de aceite y un buen sabor.	Galindo-Tovar et al. (2008) Bill et al. (2014)
Mexicana	El árbol prospera mejor en los subtrópicos, es poco tolerante a la salinidad, pero más tolerante a las temperaturas frías, ya que está adaptado a elevaciones altas. Tiene una época de floración de enero a febrero y un periodo de flor a fruto maduro es de entre 5-7 meses. Sus frutos varían de pequeños a medianos, de forma mayormente elongada y con cáscara cerosa, además tienen una pulpa con contenido de aceite muy alto y con un sabor a anís.	Galindo-Tovar et al. (2008) Chen et al. (2009)
Antillana	Es originario de las tierras bajas de América Central y es esencialmente tropical, por lo que es menos tolerante al frío que las razas anteriores, pero tiene una mayor resistencia a la salinidad y a la clorosis. Su periodo de floración es de febrero a marzo, tardando aproximadamente 6-9 meses en tener un fruto maduro. Los frutos varían de mediano a muy grande con una cáscara brillante y una pulpa con bajo contenido de aceite.	Hurtado-Fernández et al. (2018) Zafar & Sidhu (2018)

2.2 Variedades mejoradas

A pesar de las marcadas diferencias que hay entre las tres razas, no existen barreras de esterilidad entre las tres ellas ni entre ninguna categoría taxonómica clasificada bajo *P. americana*. Por lo que el proceso de hibridación puede ocurrir fácilmente cuando árboles de diferentes razas crecen en la proximidad (Hurtado-Fernández et al., 2018). Esto ha dado pie a la creación de diversos cultivares que se presentan en el Cuadro 2 usando las ventajas de cada raza.

Cuadro 2. Origen genético y características de diversos cultivares comerciales de aguacate (*Persea americana*).

Cultivar	Raza	Características
'Hass'	GxM	Originario de La Habra Heights, California, 1926; produce un fruto piriforme con un peso de entre 7–10 oz; la cáscara es blanda, granulosa, coriácea y se oscurece en el árbol. Su semilla es pequeña, apretada en la cavidad.
'Lamb Hass'	GxM	Fruta tipo 'Hass' de entre 10–18 oz; cáscara negra cuando madura, medianamente gruesa; semilla pequeña a mediana; hojas más oscuras que Hass; árbol erguido y densidad de copa mayor que 'Hass'.
'Fuerte'	MxG	Originario de Atlixco, posee un árbol alto, abierto y extendido; su fruto es piriforme con cáscara verde oscuro y un peso de 16 oz.
'Bacon'	MxG	Árbol alto y esbelto con excelente tolerancia a las heladas. Fruto ovoide de entre 7–12 oz con cáscara verde, fina y lisa. Pulpa de color amarillo verdoso muy pálido.
'Pinkerton'	GxM	Híbrido de hábito arbóreo bajo y extendido, con floración tipo A. Su fruto es piriforme, con cáscara verde coriácea, con un peso de 8-14 oz. La semilla pequeña y está separada de la pulpa.
'Choquete'	GxA	Variedad resistente a roña de una productividad medianamente alta y floración tipo A. Su fruto es de cáscara verde, con un peso variante entre 18-40 oz.
'Monroe'	GxA	Genotipo con resistencia moderada al frío y de alta productividad, medianamente susceptible a roña y con frutos de piel verde, con un peso de 24-40 oz.

(Ashworth & Clegg, 2003; Crane & Maguire, 2007)

Por ejemplo, en el caso de la raza guatemalteca se cruza para desarrollar genotipos con temporadas de cosecha más tardías, mientras que la raza mexicana se usa para obtener frutos con mayor sabor y frutos de tamaño mediano que es lo deseable comercialmente.

De todas estas hibridaciones, el cv. Hass, creado al cruzar las razas guatemalteca-mexicana se convirtió en un éxito a tal grado que, según Silva & Ledesma (2014), entre el 85 y 90% de la producción comercial se basa en este genotipo.

2.3 Producción mundial de aguacate

2.3.1 Exportaciones

El creciente apetito mundial por los aguacates ha aumentado rápidamente en los últimos años entre los países de Europa, América del Norte y Asia, lo que está relacionado parcialmente con las tendencias del estilo de vida y los posibles beneficios para la salud del consumo de este fruto. En el caso de estados unidos, el consumo per cápita de aguacate creció más de 400 % entre 1990 y 2017, ubicándose en los 10 kg por habitante, mientras que de manera general en Europa el consumo aumento en un 179 % es decir aproximadamente 2.28 kg por persona destacando el caso de Francia e Italia donde los valores respectivos fueron 54 y 258% (Sommaruga & Eldridge, 2021).

Este aumento de la demanda ha sido cubierto por diversos países, destacando México que, aporta más de un tercio del total consumido, lo que se traduce en una derrama de 2.6 mil millones de dólares, exportándose cerca de 90 % a los Estados Unidos que gasta aproximadamente 2.23 mil millones de dólares en aguacate mexicano. Por otro lado, países como Perú, Holanda, Chile y España aportan el 13.7, 9.94, 6.14 y 6 % del total de las exportaciones mundiales, lo que

se traduce en una derrama en dólares de 801, 581, 359 y 356 mdd, respectivamente (Observatory of Economic Complexity, 2018).

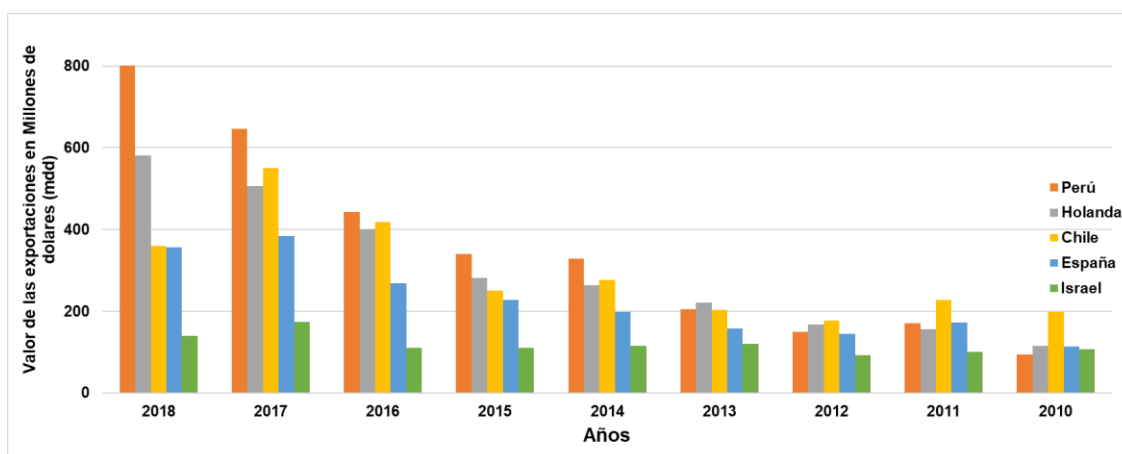


Figura 1. Principales países y valor de las exportaciones expresadas en millones de dólares (mdd) a través de los años. Elaboración propia de datos obtenidos de OEC.

Sin embargo, esta tendencia varía a través del tiempo, como se observa en la Figura 1, donde países como Chile y España presentaron una disminución en el valor de sus exportaciones de 34 y 7.3 %, respectivamente, mientras que los restantes tuvieron una tendencia de crecimiento. Además, se aprecia que a partir del 2015 empezó un nuevo auge en las exportaciones, ya que en solo 3 años el valor de éstas aumentó al menos un 40 %. Cabe destacar los casos de Perú y Holanda, que elevaron ese valor en más de 100 %.

2.3.2 Importaciones

En el caso de los países que más importan aguacate se encuentran los Estados Unidos que absorbe 38% de todo el aguacate comercializado (2230 mdd), seguido por Holanda, Francia y Alemania que acaparan el 12, 5.1 y 4.5 % respectivamente, gastando en este producto cerca de 702, 302 y 266 mdd, respectivamente (Figura 2). En el mismo se nota la tendencia al alza en el valor monetario que representan las importaciones en cada país, duplicándose para países como Estados Unidos, Holanda, Canadá y Alemania, lo que se puede deber a una mayor demanda y al aumento en los precios del fruto de aguacate.

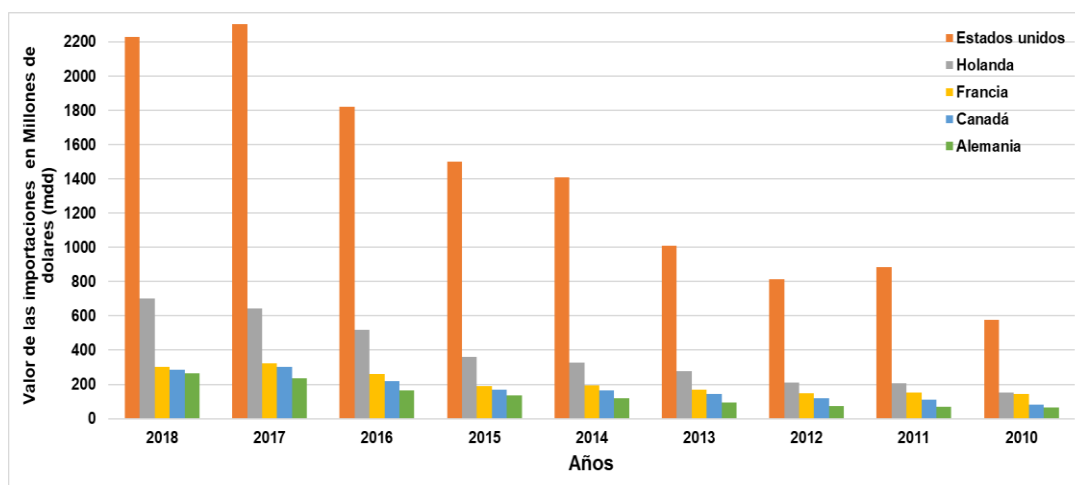


Figura 2. Principales países y valor de las exportaciones expresadas en millones de dólares (mdd) a través de los años. Elaboración propia de datos obtenidos de Observatory of Economic Complexity (OEC).

2.4 Producción nacional de aguacate

México es el centro de domesticación de aguacate, ya que se han encontrado restos arqueológicos en el valle de Tehuacán; sin embargo, la producción comercial de aguacate a gran escala empezó a partir de la década de 1950 en el estado de Michoacán (Dorantes et al., 2004). A partir de ese momento el cultivo se ha expandido a otros estados como Jalisco que concentra 9.7 % de la superficie sembrada (22,548 ha), el estado de México con 4.5 % (10,000 ha), aunque Michoacán sigue siendo el principal estado productor con 72 % de las ha cultivadas con aguacate (SIAP, 2021). Este aumento en superficie se debe a la alta demanda y rentabilidad del cultivo.

Esta expansión trajo como resultado un aumento de la producción de aguacate, destacando el estado de Michoacán, que produce más del 70 % en México, lo que representa 1,674,855 t, seguido por el Jalisco con 201,804 t (9.7%) y Estado de México con 97,805 t (4.5 %) (SIAP, 2021). El aumento de producción tiene una tendencia generalizada al alza (Figura 3). Este aumento llevó consigo una mayor ganancia expresada en millones de pesos, que para el año 2018 alcanzó un valor de 41,000 millones, más del doble de lo obtenido en el año 2006. Cabe

destacar que el cv. Hass representa entre el 85 y 90 % de la producción comercial de aguacate en la actualidad (Ayala, Silva & Ledesma, 2014), esto se debe a su piel gruesa y su alto contenido de aceite.

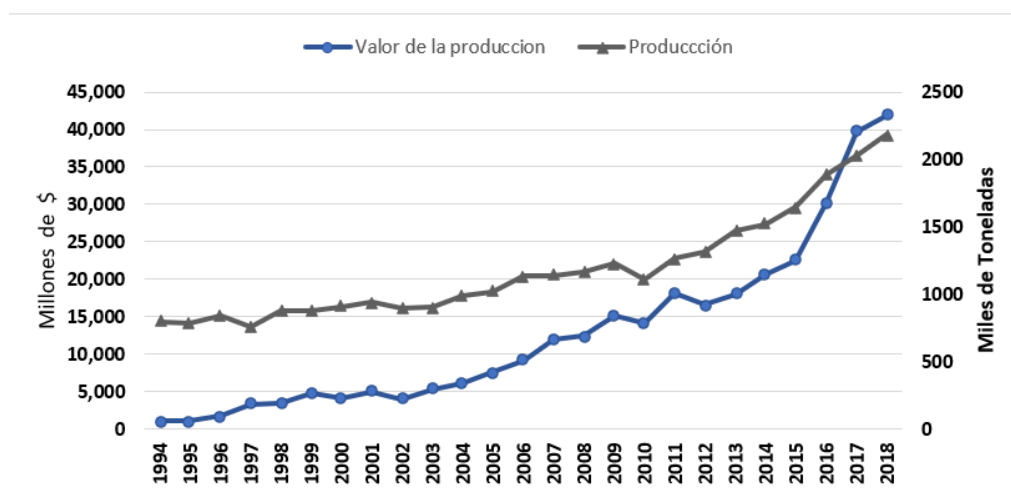


Figura 3. Producción de aguacate a través de los años en México. Fuente: Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP).

2.5 Los alimentos nutraceuticos

Hoy en día la conciencia del autocuidado de la salud del consumidor ha llevado a que el concepto de nutrición sea parte fundamental del estilo de vida con la finalidad de mejorar la salud, prevenir y tratar enfermedades. Por lo cual diferentes investigadores han centrado su interés en el efecto que tiene la nutrición a nivel fisiológico y la relación entre la alimentación y las enfermedades crónicas no transmisibles, con el fin de contribuir a la salud y bienestar de la población. Bajo este enfoque, se ha considerado a las frutas con una diversidad de ingredientes nutraceuticos como alimentos funcionales, por ser una fuente potencial de diversos compuestos bioactivos

La American Nutraceutical Association define a un nutraceutico como un alimento (o parte de este) que proporciona beneficios a la salud, que incluye la prevención y tratamiento de una enfermedad; tales productos pueden variar desde nutrientes aislados, suplementos dietarios, hasta productos diseñados genéticamente. Estas sustancias desempeñan un papel crucial en el mantenimiento de una respuesta inmune óptima. Por esta razón, el consumo de

suplementos de vitaminas y minerales, y en general de la gran variedad de nutracéuticos en productos frescos, es cada vez más común en la población mundial.

Otro grupo de metabolitos, unos de los más importantes son los antioxidantes, ya que actúan en las células vivas como defensa contra el daño de los radicales libres. Al respecto, Gupta & Prakash (2015) mencionan que existen dos líneas de defensa, la primera que incluye enzimas antioxidantes (como superóxido dismutasa, catalasa y glutatión peroxidasa) y la segunda que incluye antioxidantes no enzimáticos de bajo peso molecular (tiorredoxina, glutatión, vitaminas A, C, E, licopeno, luteína, zeaxantina polifenoles, quercetina, etc.). Por lo tanto, las dietas ricas en antioxidantes, como el consumo principalmente de frutas y verduras ayudan a neutralizar el daño de los radicales libres y mejoran la salud. Esta teoría es consistente con una fuerte asociación con mejores resultados de salud, al tener efectos positivos sobre la prevención de algunas enfermedades crónico-degenerativas como el cáncer o las enfermedades cardíacas.

2.6 Los antioxidantes

Halliwell et al. (1995), definen a un antioxidante como "cualquier sustancia que, cuando está presente en concentraciones bajas en comparación con las de un sustrato oxidable, retrasa o previene significativamente la oxidación de ese sustrato". El término "sustrato oxidable" incluye casi todo lo que se encuentra en los alimentos y en los tejidos vivos, incluidas las proteínas, los lípidos, los carbohidratos y el ADN. Los antioxidantes son una familia heterogénea de moléculas, difíciles de clasificar por sus propiedades estructurales compartidas. Además, también debe considerarse la presencia de otros metabolitos conocidos como pro-antioxidantes, cuya función es la modulación de agentes directos o la regulación de la biosíntesis de proteínas antioxidantes, favoreciendo así la síntesis y / o disponibilidad de algunos antioxidantes. Debido a la gran variedad

de antioxidantes, se han intentado varias clasificaciones teniendo en cuenta el origen (natural o sintético), propiedades químico-físicas (hidrofílicas o lipofílicas), estructura (flavonoides, polifenoles, etc.), mecanismo (preventivo, rotura de cadena, etc.) y por su naturaleza (enzimática o no enzimática).

En el caso de los antioxidantes enzimáticos, las defensas antioxidantes consisten en evitar la reducción univalente del oxígeno mediante sistemas enzimáticos. Estos sistemas se encargan de inactivar por diferentes mecanismos a las otras especies reactivas de oxígeno (EROs), como es el caso del superóxido dismutasa (SOD), la catalasa (CAT) y el glutatión peroxidasa, entre otras. Mientras que los antioxidantes no enzimáticos actúan como cofactores de las enzimas antioxidantes, son esenciales para la defensa contra el daño oxidante y agrupa a los polifenoles, los minerales, las vitaminas y los carotenoides (Hicks et al., 2006). Los antioxidantes naturales que se encuentran en los alimentos se pueden usar como estabilizador o componente en las formulaciones de alimentos y suplementos.

2.6.1 Métodos para determinar actividad antioxidante

La actividad antioxidante es la capacidad de una sustancia para inhibir la degradación oxidativa (por ejemplo, la peroxidación lipídica), de tal manera que un antioxidante actúa, principalmente, gracias a su capacidad para reaccionar con radicales libres. En la actualidad no existen métodos unificados para medir capacidad antioxidante, en parte, debido a la disparidad de condiciones en las cuales se desarrollan estas metodologías, además de la complejidad de los sistemas y de la diversidad de matrices que necesitan ser evaluadas (Apak et al., 2017).

Los métodos directos están basados en el estudio del efecto de un antioxidante sobre la degradación oxidativa de un sistema (proteínas, ácidos nucleicos, plasma sanguíneo, grasas, lipoproteínas, membranas biológicas, etc.). Por su parte, los métodos indirectos analizan la habilidad del antioxidante para estabilizar algún radical libre, de hecho, se ha popularizado el uso de algunos

radicales libres metaestables, coloreados, con fuerte absorción en el espectro visible, como herramienta para determinar actividad estabilizadora de radicales libres (DPPH, ABTS).

2.6.2 Estudios de actividad antioxidante en aguacate

Varios autores han evaluado la actividad antioxidante (principalmente hidrófila) como actividad media o baja del aguacate utilizando diferentes (DPPH, ABTS o FRAP) (Luximon et al., 2003). Por otro lado, García-Alonso (2004) estudiaron la actividad antioxidante de extractos de 28 frutos en fase lipídica y acuosa por el método TBARS, señalando que el aguacate presentó el valor más bajo de actividad antioxidante.

Un experimento realizado en diferentes frutos, incluido el aguacate, determinó la actividad antioxidante de fruto y semilla bajo las metodologías de AEAC ($\mu\text{mol g}^{-1}$) FRAP ($\mu\text{mol g}^{-1}$), encontrando mayor actividad antioxidante en este fruto en comparación a la jaca y longan. En el estudio también se reportó que la semilla presentó mayor actividad antioxidante ($725\text{-}1484 \mu\text{mol g}^{-1}$) en comparación con la pulpa ($13.1\text{-}9.6 \mu\text{mol g}^{-1}$) debido a una gran correlación con la mayor concentración de compuestos fenólicos (Soong & Barlow, 2004). Sin embargo, Plaza et al. (2009), observaron la existencia de una correlación positiva con el contenido de ácido esteárico presente en frutos de aguacate, además de un aumento significativo de la eficiencia antirradical (AE) en rodajas y mitades de aguacate después de 13 días de almacenamiento en condiciones de vacío.

Estudios recientes como el de Tremocoldi et al. (2018) en aguacate 'Hass' y 'Fuerte' demostró que, la semilla posee mayor actividad antioxidante en comparación a la cáscara; así como una mayor presencia de esta actividad en la variedad 'Fuerte'. Sin embargo, en ambas variedades probadas, los extractos de cáscara presentaron una mayor capacidad de captación de radicales superóxidos en 'Hass' ($52 \mu\text{g mL}^{-1}$) y en 'Fuerte' ($12 \mu\text{g mL}^{-1}$) que los extractos de semillas. Estos hallazgos sugieren que el extracto de cáscara de 'Fuerte' puede reducir la acción de los radicales libres durante el proceso inflamatorio, es decir, que el

extracto de cáscara de 'Fuerte' puede considerarse un producto antiinflamatorio natural.

2.7 Carotenoides

Se denominan pigmentos fotosintéticos a aquellas moléculas localizadas en las membranas tilacoidales de los cloroplastos de las plantas superiores y de las algas, que son capaces de absorber la energía radiante. Los dos pigmentos principales son las clorofilas a y b en plantas, pero los organismos fotosintéticos contienen otras sustancias que también absorben la luz y que se denominan pigmentos accesorios. Estos son los carotenoides y las ficobilinas. Los carotenoides son generalmente pigmentos de naturaleza isoprenoide amarillo-anaranjado ampliamente distribuidos en la naturaleza, la mayoría son tetra terpenos formados formalmente por ocho unidades de isopreno, típicamente como el β -caroteno (Krinsky et al., 2004).

Los carotenoides son compuestos lipofílicos que proporcionan las coloraciones amarillo-anaranjado que se encuentran en la naturaleza como resultado de sus características de absorción de luz, incluye los colores que se encuentran en plantas, flores y animales (Roberts et al., 2009). En los organismos fotosintéticos, incluidas las plantas y las microalgas, los carotenoides desempeñan diversos papeles. Estos pigmentos pueden actuar como pigmentos accesorios en las funciones de recolección de luz durante la fotosíntesis y también son capaces de foto proteger la maquinaria fotosintética del exceso luz eliminando especies reactivas de oxígeno (ROS) como oxígeno singlete y otros radicales libres (Murthy et al., 2005). Aunque comúnmente se consideran pigmentos vegetales, los carotenoides también se encuentran en algunos alimentos de origen animal. Sin embargo, como mencionó Rodríguez-Amaya (2001), la presencia de estos compuestos en los animales, se derivan de la dieta, ya que se absorben y se acumulan sin cambios o se modifican ligeramente, ya que los animales no pueden sintetizarlos.

Se pueden agrupar en varias subclasificaciones, siendo los más conocidos los carotenoides provitamina A (precursor de la vitamina A en el cuerpo humano) y los carotenoides no provitamina A (no precursores de vitamina A en el cuerpo humano). La luteína y la zeaxantina pertenecen a la subclase de carotenoides no provitamina A, conocidos como las xantofilas y son diferentes de otros carotenoides porque contienen sustituyentes oxigenados. Aunque las xantofilas tienen similitudes estructurales significativas con otros compuestos carotenoides, como el β -caroteno, específicamente tienen grupos hidroxilo libres en cada extremo de la molécula que proporcionan propiedades bioquímicas únicas (Roberts et al., 2009).

2.7.1 Los carotenoides en la salud humana

Los antioxidantes protegen contra el daño oxidativo tanto neutralizando directamente los oxidantes reactivos como modulando la expresión génica que contribuye al estrés oxidativo. Svilaas et al. (2004), señalan que, este proceso de estrés surge cuando la formación de oxidantes reactivos o radicales libres (especies reactivas de oxígeno, de nitrógeno y de hierro) supera al antioxidante de defensa endógeno y se produce un daño oxidativo. Estos radicales libres reaccionan dentro del cuerpo causando daños en el ADN que dificultan la reproducción celular, impidiendo que el cuerpo se renueve porque las células muertas no son reemplazadas con la suficiente rapidez, lo que conduce a un rápido envejecimiento, donde la actividad excesiva de los radicales libres causa una evidencia tangible de envejecimiento (Islam & Gracia, 2013). Siendo el cáncer de piel, las apoplejías, los neoplasmas, la degeneración macular, algunas de las enfermedades que involucran procesos oxidativos mediados por radicales libres.

Los carotenoides, con su actividad antioxidante, pueden tener efectos benéficos sobre varios padecimientos, debido a que permanece inmersos en la membrana celular, por lo que, algunos como el β -caroteno, son capaces de reaccionar eficientemente con los radicales generados en la parte interna de la misma

membrana (tales como peróxidos de lípidos); mientras que las xantofilas, pueden reaccionar con los radicales libres del medio acuoso, por tener expuestos sus grupos polares en esas zonas (Delgado-Vargas & Paredes-Lopez,1997).

Otro mecanismo de estos pigmentos implica la activación del gen codificando proteínas en el sistema de defensa antioxidante y / o el silenciamiento de genes que pueden contribuir al estrés oxidativo (Wild & Mulcahy, 2000).

Lo anterior ha traído como consecuencia la realización de estudios y obtención de evidencias epidemiológicas que respalda el efecto protector de los carotenoides en el desarrollo de enfermedades crónico-degenerativas que han aumentado considerablemente en los últimos años. Debido a que estos compuestos tienen un efecto en la respuesta inmune y en la comunicación de célula a célula, se ha estudiado su efecto como agentes de prevención y tratamiento de varias enfermedades como cáncer y enfermedades de fotosensibilidad. La eficiencia de estos carotenoides para eliminar radicales libres, según (Delgado-Vargas & Paredes-Lopez,1997), depende del sistema en particular (tipo de radical, carotenoide, microambiente, etc.), por lo que se sugiere tomar en la dieta una mezcla de ellos, a través de los vegetales frescos.

También, se ha reportado que los antioxidantes presentes en la piel proporcionan la única forma inmediata de protección contra el daño causado por la luz solar. Sin embargo, los estudios han demostrado que esta exposición puede inducir una reducción significativa en esta capacidad antioxidante. Roberts et al. (2009) explicaron que esto se debe a que los antioxidantes están disponibles de inmediato para combatir el daño inducido por la luz en la piel y se consumen en el proceso de protección.

2.7.2 Luteína

Los carotenoides se clasifican de acuerdo con su estructura química en dos clases generales, los carotenos, que están constituidos solamente por carbono e hidrogeno; y las xantofilas, que contienen carbono, hidrogeno y adicionalmente oxígeno. Las xantofilas tienen la capacidad de transferir energía absorbida a las clorofilas, presentan colores llamativos (anaranjado y amarillo). Algunos

vegetales como el pimiento amarillo y rojo representan una fuente importante de xantofilas. (Rodríguez- Amaya, 2001). Algunos de estos pigmentos, son considerados agentes antioxidantes potenciales (Kurilich & Juvick, 1999), como las luteínas y zeaxantinas, las cuales han demostrado tener efectos benéficos en la salud humana.

El nombre de luteína proviene del latín luteum (huevo) luteus (amarillo), no es biosintetizada, es altamente sensible a la isomerización y oxidación durante el procesamiento y almacenaje, dando como consecuencia pérdida del color y actividad biológica (Fennema, 1993).

Ambas sustancias luteína y zeaxantina, tienen una gran demanda en los mercados internacionales, para utilizarse como aditivos para la alimentación de aves de corral, crustáceos y peces, para proporcionar colores brillantes en las yemas de huevo, la piel y los tejidos grasos debido a sus propiedades de pigmentación. También se han comercializado como nutracéuticos en aplicaciones que incluyen la prevención del cáncer, la inhibición de la autooxidación de los lípidos celulares y la prevención de la degeneración macular relacionada con la edad. Por esta razón, es aceptado como colorante en la Unión Europea y en el mercado estadounidense, donde las ventas de luteína como aditivo para alimentos ascienden a alrededor de \$ 150 millones por año (Sánchez et al., 2008). Las dietas basadas en el consumo de frutas y verduras verdes son excelentes fuentes de luteína, que a menudo está presente en concentraciones mucho más altas que el β -caroteno en estos alimentos (Khachik, et al., 2007).

Según Koh et al. (2004), tanto la luteína como la zeaxantina se depositan selectivamente en la retina y evitan la degeneración macular relacionada con la edad (DMAE) la principal causa de ceguera en humanos mayores de 60 años; además, se han asociado con una menor formación de cataratas en el ojo humano. Por su parte, Kim & Le-Kim (2001), encontraron que la luteína y la zeaxantina, parecen tener una acción protectora contra el cáncer de mama; cuyos posibles mecanismos de protección son mediante el secuestro de radicales libres, la modulación de metabolismo del carcinoma, inhibición de la

proliferación celular, aumento de la diferenciación celular a través de los retinoides, estimulación de la comunicación entre las células y aumento de la respuesta inmune (Ambrósio et al., 2006).

2.7.3 Determinación de luteína y zeaxantina en aguacate

La determinación de carotenoides presentes en aguacate se ha realizado anteriormente, no solo en la pulpa, también en la cáscara e incluso en las hojas como lo demostró el estudio realizado por Gross et al. (1973), mediante cromatografía en columna, los autores reportaron que en la pulpa las xantofilas comprendieron el 95 % del total de carotenoides totales, del cual el 25 % correspondía a luteína y zeaxantina no se detectó. En el mismo estudio se encontró que la mayor cantidad de luteína se localizó en la cáscara (55 %) y en las hojas (51 %), mientras que la zeaxantina solo la encontró en las hojas (1.6 %).

Aunque los vegetales que contienen mayor contenido de luteína son la col rizada y la espinaca ($>10 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$), el aguacate se considera entre los frutos con mayor contenido de este compuesto, ya que tiene cantidades mayores que las de naranjas ($129 \text{ } \mu\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$) y los tomates ($94 \text{ } \mu\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$).

En cuanto a la estabilidad de estos carotenoides, los resultados del estudio de Jacobo-Velázquez & Hernández-Brenes (2012), fueron concluyentes al demostrar que aguacates almacenados por 40 días a $4 \text{ }^{\circ}\text{C}$ pierden por completo ciertos compuestos como la zeaxantina, mientras que la luteína mostro un pequeño porcentaje de degradación (20 %), lo que indicó que estos compuestos fueron menos susceptibles a la oxidación durante almacenamiento. Esta degradación se debe principalmente a la acción enzimática de la lisil oxidasa (LOX). Por lo tanto, las diferencias en la disminución de la concentración de carotenoides individuales (Entre ellos luteína y zeaxantina) observadas durante el almacenamiento posiblemente estén relacionadas con la susceptibilidad de cada compuesto de ser co-oxidado por la enzima LOX.

2.8 La vitamina E y la salud

Sabliov et al. (2009), clasificaron a la vitamina E como un micronutriente esencial debido a que el organismo no puede sintetizarla y su aporte se realiza a través de la dieta en pequeñas cantidades; es producida por organismos fotosintéticos (plantas, las algas y algunas cianobacterias) y detectada en hojas, semillas, raíces, tubérculos, frutos, tallos, hipocótilos y cotiledones de plantas superiores; estructuralmente está compuesto por un anillo de cromanol hidrófilo y una cadena lateral isoprenoide hidrófoba. El término vitamina E es el descriptor genérico utilizado para todos los derivados de tocol y tocotrienol, al menos ocho compuestos se han identificado: cuatro tocotrienoles (α , β , γ y δ) y cuatro tocoferoles (α , β , γ y δ) (Wang et al., 2012).

El α -tocoferol es la forma con la mayor actividad biológica y es la principal forma de uso comercial. Es un compuesto viscoso, de color amarillo pálido, soluble en aceites, grasas y algunos disolventes orgánicos; es altamente susceptible a la autooxidación especialmente en presencia de calor, luz y álcalis (Hategekimana et al., 2015). Según Sabliov et al. (2009), el α -tocoferol se oxida al someterse a altas temperaturas a través del tiempo en condiciones atmosféricas, aumentando su degradación; pero es estable en ausencia de oxígeno. La vitamina E es un antioxidante natural importante en los aceites de semillas, por lo que es fundamental para la estabilidad de los ácidos grasos poliinsaturados.

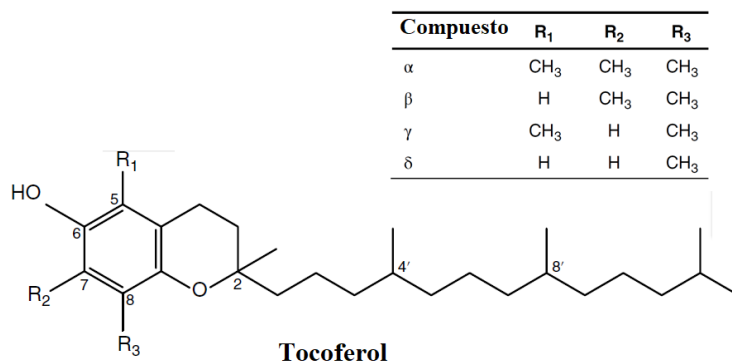


Figura 4. Estructura general de los diversos tocoferoles (Apak et al., 2017).

También los tocoferoles muestran una fuerte actividad antioxidante, que confiere protección contra la peroxidación de los lípidos, eliminando los radicales peróxidos de los ácidos grasos insaturados o al reaccionar con oxígeno singlete y otras especies reactivas de oxígeno (ROS). El contenido y composición de los tocoferoles dependen principalmente del tipo de alimento vegetal, las condiciones agroclimáticas, etc. No obstante, los niveles de tocoferoles totales son abundantes en las semillas oleaginosas, aceitunas, nueces, cacahuates, almendras y aguacate, predominando el α - y γ - tocoferol, esto según Vicente et al. (2014).

Los tocoferoles tienen diversos efectos positivos en la salud humana Closas et al. (2002), señalan que existen enfermedades degenerativas, como las cardiovasculares y el cáncer, que podrían estar asociadas a déficit subclínico de ciertos micronutrientes como el α -tocoferol (vitamina E). Así mismo, enfermedades neurodegenerativas (Parkinson y de Alzheimer), cataratas, degeneración macular, y enfermedades asociadas a alteraciones de la respuesta inmunológica, como la artritis reumatoide puede asociarse con el déficit de compuestos antioxidantes, en particular α -tocoferol y el β -caroteno.

3.8.1 Determinaciones de vitamina E en aguacate

El contenido de la vitamina E en los cultivos básicos ha sido un objetivo principal en la mejora de éstos por los beneficios para el hombre anteriormente citados. En los vegetales los tocoferoles y fitoesteroles también actúan como componentes que contribuyen a la estabilidad oxidativa durante el almacenamiento por su actividad antioxidante, principalmente en aquellos productos ricos en aceites como el aguacate. La cantidad de tocoferoles o vitamina E ha sido evaluada anteriormente; pero en la mayoría de los casos se considera la cantidad de α -tocoferol como el contenido de vitamina E por ser el metabolito en mayor proporción, ya que los otros tocoferoles se encuentran en cantidades demasiado pequeñas.

En un estudio realizado por Lozano et al. (1993), se encontró que la cantidad total de tocoferoles presentes en tres variedades de aguacate fue mayor en frutos

inmaduros que en frutos maduros. En etapa inmadura los valores obtenidos fueron: 'Lula' (45.6 mg 100g⁻¹), 'Bacon' (32.5 mg 100g⁻¹), 'Fuerte' (20.1 mg 100g⁻¹) y 'Zutano' (23.6 mg 100g⁻¹); mientras que en frutos maduros los resultados fueron 10.3, 8.7, 5.7 y 6.9 mg 100g⁻¹, respectivamente. Es decir que presentó una disminución de 75 % en su contenido de vitamina E durante el proceso de maduración del fruto.

Según Corzzini et al. (2017) el principal tocoferol presente en aguacate es el α -tocopherol con un valor de 20 mg 100 g⁻¹ de aceite. Esta coincide con lo reportado por Wolf et al. (2009), que encontraron valores de entre 0.07-0.19 mg g⁻¹ de α -tocopherol, y valores menores a 0.01 mg g⁻¹ de β , γ y δ -tocopherol, en aceite de aguacate 'Hass', mientras que Condelli et al. (2015) encontraron valores de 151 a 223 mg L⁻¹ de α -tocopherol. En el estudio hecho por Hurtado et al. (2018), el contenido de vitamina E (α -tocopherol) en aguacate variedad Hass fue de 2.07 mg 100 g⁻¹ de pulpa.

Un estudio más específico para determinar Vitamina E fue realizado por Araújo et al. (2018) que reportaron valores de 1.97, 0.04, 0.32 y 0.02 para α , β , γ y δ -tocopherol, respectivamente, expresado en mg 100 g⁻¹ de pulpa de aguacate 'Hass', lo cual coincidió parcialmente con lo encontrado por Condelli et al. (2015). Sin embargo, la información sobre este parámetro es escasa o inexistente en variedades criollas o mejoradas, ya que la mayoría del comercio mundial se centra en el cultivar Hass.

2.9 El β -caroteno y la salud

El β -caroteno es un miembro importante de los carotenoides, que proporciona tonalidades que van del amarillo al anaranjado intenso y es abundante en algunas plantas y frutas. Es uno de los carotenoides más comunes y ampliamente estudiados, importante no solo por el color que imparte a los alimentos, sino también por la gran cantidad de beneficios para la salud asociados. Además, es el precursor más potente de la vitamina A, ya que tiene el potencial de producir dos moléculas de retinol en presencia de oxígeno por la acción del β -caroteno 15, 15'-monooxigenasa (BCO-1) y de la retinol deshidrogenasa (Van-Arnum,

2000). Las principales fuentes de β -caroteno son los huevos, la leche y el hígado; aunque también se encuentra abundantemente en vegetales como los albaricoques, los espárragos, las zanahorias, el brócoli, la col china, las toronjas, el chile en polvo y el pimentón (Gul et al., 2015).

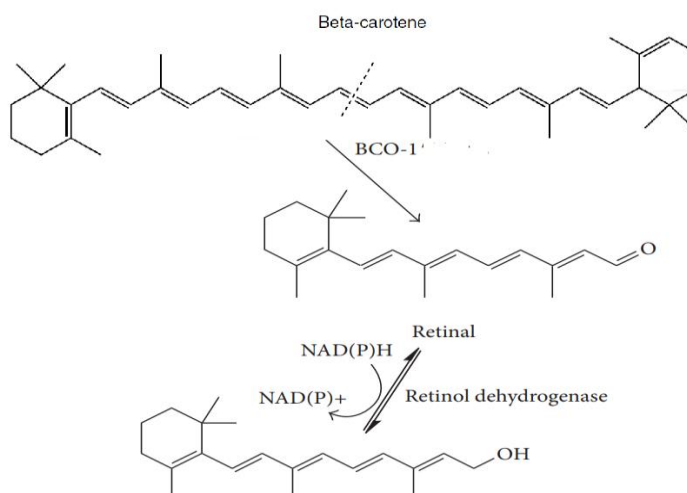


Figura 5. Ruta metabólica para producir retinol (vitamina A) a partir de β -caroteno (Green & Fascetti, 2016).

Los usos de esta provitamina A es variado, principalmente en la industria alimentaria, cosmética y farmacéutica como colorante, agente antioxidante, antiinflamatorio y antitumoral. Es un metabolito es también un antioxidante que puede remplazar a los antioxidantes sintéticos como el BHA (butilhidroxianisol) y el BHT (butilhidroxitolueno), usados como antioxidantes en la industria aceitera. La alta actividad antioxidante se debe a que el β -caroteno puede eliminar hasta 1000 radicales libres por molécula., esto al evitar la peroxidación lipídica extinguiendo el oxígeno singulete y atrapando los radicales peroxilo libres. Debido a las propiedades antes mencionadas, el estudio de este caroteno se ha ampliado a la medicina, donde diversos estudios demostraron que el consumo de frutas y verduras con alto contenido de β -caroteno está relacionado con una menor incidencia de ciertos tipos de cáncer, incluidos los cánceres de pulmón, piel y tracto digestivo (Anguelova & Warthesen, 2000).

2.10 Literatura Citada

- Ahmad, M. F., Ashraf, S. A., Ahmad, F. A., Ansari, J. A., & Siddiquee, M. R. A. (2011). Nutraceutical market and its regulation. *American Journal of Food Technology*, 6(5), 342-347.
- Albright, C. L., Schembre, S. M., Steffen, A. D., Wilkens, L. R., Monroe, K. R., Yonemori, K. M., & Murphy, S. P. (2012). Differences by race/ethnicity in older adults' beliefs about the relative importance of dietary supplements vs prescription medications: results from the SURE Study. *Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics*, 112(8), 1223-1229.
- Amaral, J. S., Alves, M. R., Seabra, R. M., & Oliveira, B. P. (2005). Vitamin E composition of walnuts (*Juglans regia* L.): a 3-year comparative study of different cultivars. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(13), 5467-5472.
- Ambrósio, C. L. B., Campos, F. D. A. C., & Faro, Z. P. D. (2006). Carotenóides como alternativa contra a hipovitaminose A. *Revista de Nutrição*, 19(2), 233-243.
- Anguelova, T., & Warthesen, J. (2000). Degradation of lycopene, α -carotene, and β -carotene during lipid peroxidation. *Journal of Food Science*, 65(1), 71-75.
- Apak, R., Capanoglu, E., & Shahidi, F. (2017). Antioxidants in oxidation control. In Apak R., Capanoglu, E., Shahidi, F. (Eds.), *Measurement of antioxidant activity and capacity: Recent trends and applications*. (pp. 287-310). Wiley.
- Araújo, R. G., Rodriguez-Jasso, R. M., Ruiz, H. A., Pintado, M. M. E., & Aguilar, C. N. (2018). Avocado by-products: Nutritional and functional properties. *Trends in Food Science & Technology*, 80, 51-60
- Ashworth, V. E. T. M., & Clegg, M. T. (2003). Microsatellite markers in avocado (*Persea americana* Mill.): genealogical relationships among cultivated avocado genotypes. *Journal of Heredity*, 94(5), 407-415.
- Ayala S., T. & Ledesma, N. (2014). Avocado history, biodiversity and production. In Nandwani, D. (Eds.) *Sustainable horticultural systems. Sustainable development and biodiversity* (vol. 2). Springer.
- Barrientos-Priego, A. F. (2017). Presente y futuro de los portainjertos y variedades de aguacate en el mundo y México. In S. Salazar-García & A. F. Barrientos-Priego (Eds.). *Memorias del V Congreso Latinoamericano del Aguacate* (pp. 2-15). Asociación de Productores y Exportadores de Jalisco (APEAJAL).

- Bernstein, P. S., Khachik, F., Carvalho, L. S., Muir, G. J., Zhao, D. Y., & Katz, N. B. (2001). Identification and quantitation of carotenoids and their metabolites in the tissues of the human eye. *Experimental Eye Research*, 72(3), 215-223.
- Bill, M., Sivakumar, D., Thompson, A. K., & Korsten, L. (2014). Avocado fruit quality management during the postharvest supply chain. *Food Reviews International*, 30(3), 169-202.
- Breithaupt, D. E., & Schlatterer, J. (2004). Lutein and zeaxanthin in new dietary supplements—analysis and quantification. *European Food Research and Technology*, 220(5–6), 648–652.
- Britton, G. (2008). Functions of intact carotenoids. In Britton, G., Liaaen-Jensen, S. & Pfander, H. (Eds.), *Carotenoids* (pp. 189-212). Birkhäuser Basel.
- Cardinault, N., Gorrand, J. M., Tyssandier, V., Grolier, P., Rock, E., & Borel, P. (2003). Short-term supplementation with lutein affects biomarkers of lutein status similarly in young and elderly subjects. *Experimental Gerontology*, 38(5), 573-582.
- Carr, M. K. V. (2013). The water relations and irrigation requirements of avocado (*Persea americana* Mill.): a review. *Experimental Agriculture*, 49(2), 256–278.
- Chen, H., Morrell, P. L., Ashworth, V. E., De La Cruz, M., & Clegg, M. T. (2009). Tracing the geographic origins of major avocado cultivars. *Journal of Heredity*, 100(1), 56-65
- Closas, R. G., Majem, L. S., Ferrer, C. P., Castellvell, M. O., Roman, B., Barba, L. R., & Sanmartí, L. S. (2002). Distribución de la concentración sérica de β -caroteno, retinol y α -tocoferol en una muestra representativa de la población adulta de Cataluña. *Medicina Clínica*, 118(7), 256-261.
- Crane, J. H., Balerdi, C. F., & Maguire, I. (2007). Avocado growing in the Florida home landscape. *The Horticultural Sciences Department at the University of Florida Cooperative Extension Office., Institute of Food and Agricultural Sciences., University of Florida. Circular*, 1034, 1-12.
- Delgado-Vargas, F., & Paredes-López, O. (1997). Effects of enzymatic treatments on carotenoid extraction from marigold flowers (*Tagetes erecta*). *Food Chemistry*, 58(3), 255-258.
- Gao, S., Tong, Y., Zhu, L., Ge, M., Jiang, Y., Chen, D., & Yang, S. (2017). Production of β -carotene by expressing a heterologous multifunctional carotene synthase in *Yarrowia lipolytica*. *Biotechnology Letters*, 39(6), 921-927.

- García-Alonso, M. (2004). Evaluation of the antioxidant properties of fruits. *Food Chemistry*, 84(1), 13–18.
- 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.
- Granado, F., Olmedilla, B., & Blanco, I. (2003). Nutritional and clinical relevance of lutein in human health. *British Journal of Nutrition*, 90(3), 487-502
- Green, A. S., & Fascetti, A. J. (2016). Meeting the vitamin A requirement: the efficacy and importance of β -carotene in animal species. *The Scientific World Journal*, 2016, 1–22.
- Gross, J., Gabai, M., Lifshitz, A., & Sklarz, B. (1973). Carotenoids in pulp, peel and leaves of *Persea americana*. *Phytochemistry*, 12(9), 2259–2263. [https://doi.org/10.1016/0031-9422\(73\)85130-1](https://doi.org/10.1016/0031-9422(73)85130-1)
- González-Sarrías, A., Larrosa, M., García-Conesa, M. T., Tomás-Barberán, F. A., & Espín, J. C. (2013). Nutraceuticals for older people: Facts, fictions and gaps in knowledge. *Maturitas*, 75(4), 313-334.
- Gul, K., Tak, A., Singh, A. K., Singh, P., Yousuf, B., & Wani, A. A. (2015). Chemistry, encapsulation, and health benefits of β -carotene-A review. *Cogent Food & Agriculture*, 1(1), 1018696.
- Gupta, C., & Prakash, D. (2015). Nutraceuticals for geriatrics. *Journal of Traditional and Complementary Medicine*, 5(1), 5-14.
- Gurr, M. I. (1992). Dietary lipids and coronary heart disease: old evidence, new perspective. *Progress in Lipid Research*, 31(3), 195-243.
- Halliwell, B., & Gutteridge, J. M. (1995). The definition and measurement of antioxidants in biological systems. *Free Radical Biology and Medicine*, 18(1), 125–126.
- Hategekimana, J., Chamba, M. V., Shoemaker, C. F., Majeed, H., & Zhong, F. (2015). Vitamin E nanoemulsions by emulsion phase inversion: Effect of environmental stress and long-term storage on stability and degradation in different carrier oil types. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 483, 70-80.
- Hicks, J. J., Torres-Ramos, Y. D., & Sierra-Vargas, M. P. (2006). Estrés oxidante. Concepto y clasificación. *Revista de endocrinología y nutrición*, 14(4), 223-226.
- Humphries, J. M., & Khachik, F. (2003). Distribution of Lutein, Zeaxanthin, and Related Geometrical Isomers in Fruit, Vegetables, Wheat, and Pasta Products. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51(5), 1322–1327.

- Hurtado-Fernández, E., Fernández-Gutiérrez, A., & Carrasco-Pancorbo, A. (2018). Avocado fruit—*Persea americana*. In Rodríguez, S., Silva E.O., S. & Brito E. (Eds.), *Exotic fruits* (pp. 37-48). Academic Press.
- Islam, M., & Gracia, F. (2013). Los antioxidantes para la salud óptima. *Revista Medico Científica*, 26(2), 3-9.
- Jacobo-Velázquez, D. A., & Hernández-Brenes, C. (2012). Stability of avocado paste carotenoids as affected by high hydrostatic pressure processing and storage. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 16, 121–128.
- Khachik, F., Chang, A. N., Gana, A., & Mazzola, E. (2007). Partial Synthesis of (3R,6'R)- α -Cryptoxanthin and (3R)- β -Cryptoxanthin from (3R,3'R,6'R)-Lutein. *Journal of Natural Products*, 70(2).
- Krinsky, N. I., Landrum, J. T., & Bone, R. A. (2003). Biologic mechanisms of the protective role of lutein and zeaxanthin in the eye. *Annual Review of Nutrition*, 23(1), 171-201.
- Krinsky, N. I., Mayne, S. T., & Sies, H. (2004). *Carotenoids in health and disease*. CRC Press.
- Kim, M. K., Ahn, S. H., & Lee-Kim, Y. C. (2001). Relationship of serum α -tocopherol, carotenoids and retinol with the risk of breast cancer. *Nutrition Research*, 21(6), 797-809
- Kopsell, D. A., & Kopsell, D. E. (2010). Carotenoids in vegetables: biosynthesis, occurrence, impacts on human health, and potential for manipulation. In Watson, R. & Preedy V. (Eds.), *Bioactive Foods in Promoting Health* (pp. 645-662). Academic Press.
- Koh, H. H., Murray, I. J., Nolan, D., Carden, D., Feather, J., & Beatty, S. (2004). Plasma and macular responses to lutein supplement in subjects with and without age-related maculopathy: a pilot study. *Experimental Eye Research*, 79(1), 21–27.
- Kurilich, A. C., & Juvik, J. A. (1999). Quantification of carotenoid and tocopherol antioxidants in *Zea mays*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 47(5), 1948-1955.
- Lozano, Y. F., Mayer, C. D., Bannon, C., & Gaydou, E. M. (1993). Unsaponifiable matter, total sterol and tocopherol contents of avocado oil varieties. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 70(6), 561–565.
- Lu, Q. Y., Arteaga, J. R., Zhang, Q., Huerta, S., Go, V. L. W., & Heber, D. (2005). Inhibition of prostate cancer cell growth by an avocado extract: role of lipid-soluble bioactive substances. *The Journal of Nutritional Biochemistry*, 16(1), 23–30.

- Lu, Q. Y., Zhang, Y., Wang, Y., Wang, D., Lee, R. P., Gao, K. & Heber, D. (2009). California Hass avocado: profiling of carotenoids, tocopherol, fatty acid, and fat content during maturation and from different growing areas. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57(21), 10408-10413.
- Luximon-Ramma, A., Bahorun, T., & Crozier, A. (2003). Antioxidant actions and phenolic and vitamin C contents of common Mauritian exotic fruits. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 83(5), 496–502.
- Maiani, G., Periago Castón, M. J., Catasta, G., Toti, E., Cambrodón, I. G., Bysted, A., Granado-Lorencio, F., Olmedilla-Alonso, B., Knuthsen, P., Valoti, M., Böhm, V., Mayer-Miebach, E., Behnslian, D., & Schlemmer, U. (2008). Carotenoids: Actual knowledge on food sources, intakes, stability and bioavailability and their protective role in humans. *Molecular Nutrition & Food Research*, 53(S2).
- Mares-Perlman, J. A., Millen, A. E., Ficek, T. L., & Hankinson, S. E. (2002). The body of evidence to support a protective role for lutein and zeaxanthin in delaying chronic disease. Overview. *The Journal of Nutrition*, 132(3), 518S-524S.
- Martínez Damián, M.T. (1990). *Efecto de diferentes temperaturas en el almacenamiento de frutos de aguacate*. Tesis de Maestría en Ciencia. Campus Montecillo, Colegio de Postgraduados.
- Murillo, E., Meléndez-Martínez, A. J., & Portugal, F. (2010). Screening of vegetables and fruits from Panama for rich sources of lutein and zeaxanthin. *Food Chemistry*, 122(1), 167-172.
- Murthy, K. C., Vanitha, A., Rajesha, J., Swamy, M. M., Sowmya, P. R., & Ravishankar, G. A. (2005). In vivo antioxidant activity of carotenoids from *Dunaliella salina*—a green microalga. *Life Sciences*, 76(12), 1381-1390.
- Observatory of Economic Complexity (2018). Avocados fresh or dried. Product trade, exporters, and importers. Recuperado el 20 diciembre 2021, de https://oec.world/en/visualize/tree_map/hs92/import/show/all/2080440/2018/
- Ozdemir, F., & Topuz, A. (2004). Changes in dry matter, oil content and fatty acids composition of avocado during harvesting time and post-harvesting ripening period. *Food Chemistry*, 86(1), 79-83.
- Plaza, L., Sánchez-Moreno, C., de Pascual-Teresa, S., de Ancos, B., & Cano, M. P. (2009). Fatty acids, sterols, and antioxidant activity in minimally processed avocados during refrigerated storage. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57(8), 3204-3209.

- Rite, X. (2002). Guía para entender la comunicación del color. *Recuperado el 29 de abril del 2020*.
- Rodriguez-Amaya, D. B., International Life Sciences Institute, Omni, International Life Sciences Institute, & OMNI (Project). (2001). *A Guide to Carotenoid Analysis in Foods*. Amsterdam University Press.
- Roberts, R. L., Green, J., & Lewis, B. (2009). Lutein and zeaxanthin in eye and skin health. *Clinics in Dermatology*, 27(2), 195-201.
- Sabliov, C. M., Fronczek, C., Astete, C. E., Khachatryan, M., Khachatryan, L., & Leonardi, C. (2009). Effects of temperature and UV light on degradation of α -tocopherol in free and dissolved form. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 86(9), 895.
- Sánchez, J. F., Fernández, J. M., Ación, F. G., Rueda, A., Pérez-Parra, J., & Molina, E. (2008). Influence of culture conditions on the productivity and lutein content of the new strain *Scenedesmus almeriensis*. *Process Biochemistry*, 43(4), 398-405.
- Schaffer, B., Wolstenholme, N. B., & Whiley, A. W. (2013). History Distribution and Uses. In Schaffer, B., Wolstenholme, N.B. & Whiley A.W. (Eds.), *The Avocado: Botany, Production and Uses* (pp. 10-31). Cabi.
- SIAP. (2017). *Boletín Mensual de la producción de aguacate*. Ciudad de México: SAGARPA-SIAP. Obtenido de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/232670/Boletin_mensual_produccion_de_aguacate_mayo_2017.pdf
- SIAP (2021). *Cierre agrícola*. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Recuperado el 28 de diciembre del 2021, de <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>
- Silva, T. A., & Ledesma, N. (2014). Avocado history, biodiversity and production. In D. Nandwani (ed.). *Sustainable horticultural systems* (pp. 157-205). Springer, Cham.
- Sommaruga, R., & Eldridge, H. M. (2021). Avocado production: Water footprint and socio-economic Implications. *EuroChoices*, 20(2), 48-53.
- Soong, Y. Y., & Barlow, P. J. (2004). Antioxidant activity and phenolic content of selected fruit seeds. *Food Chemistry*, 88(3), 411–417. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.02.003>
- Svilaas, A., Sakhi, A. K., Andersen, L. F., Svilaas, T., Ström, E. C., Jacobs, D. R., Jr., Ose, L., & Blomhoff, R. (2004). Intakes of antioxidants in coffee, wine, and vegetables are correlated with plasma carotenoids in humans. *The Journal of Nutrition*, 134(3), 562-567.

- Tremocoldi, M. A., Rosalen, P. L., Franchin, M., Massarioli, A. P., Denny, C., Daiuto, R. R., Paschoal, J. A. R., Melo, P. S., & Alencar, S. M. D. (2018). Exploration of avocado by-products as natural sources of bioactive compounds. *PLOS ONE*, 13(2).
- Van Arnum, S. D. (2000). Vitamin K. *Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology*. Wiley.
- Vincente, A. R., Manganaris, G. A., Ortiz, C. M., Sozzi, G. O., & Crisosto, C. H. (2014). Nutritional quality of fruits and vegetables. In Florkowski, W.J., Banks, N., Shewfelt, R.L. & Prussia, E.S. (Eds.), *Postharvest handling* (pp. 69-122). Academic Press.
- Wang, X., Zhang, C., Li, L., Fritsche, S., Endrigkeit, J., Zhang, W., Long, Y., Jung, C. y Meng, J. (2012). Desentrañar la base genética del contenido y composición de tocoferol en semillas de colza (*Brassica napus* L.). *PloS one*, 7 (11), e50038. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0050038>
- Wild, A. C., & Mulcahy, R. T. (2000). Regulation of γ -glutamylcysteine synthetase subunit gene expression: insights into transcriptional control of antioxidant defenses. *Free Radical Research*, 32(4), 281-301
- Zafar, T., & Sidhu, J. S. (2018). Avocado production, processing, and nutrition. In Siddiq, M. & Uebersax, M.A. (Eds.), *Handbook of Vegetables and Vegetable Processing*. (pp. 509-534). Wiley.

3. CALIDAD Y VALOR NUTRACÉUTICO DE GENOTIPOS DE AGUACATE (*Persea americana* Mill.)

QUALITY AND NUTRACEUTICAL VALUE OF AVOCADO GENOTYPES (*Persea americana* Mill.)

RESÚMEN

El aguacate (*Persea americana* Mill.) es una fruta rica en ácidos grasos monoinsaturados (AGMI), tocoferoles, ácido ascórbico, piridoxina, carotenoides (β -caroteno y luteína), potasio, entre otros componentes (Ozdemir & Topuz, 2004). Dichos metabolitos tienen diversos efectos benéficos en el cuerpo humano, ya que puede contribuir a reducir el riesgo de enfermedades cardiovasculares al actuar como agentes antioxidantes. Por esta razón, en los últimos años se ha evaluado su valor nutracéutico, en cultivares comerciales como 'Hass' o 'Fuerte', dejando de lado otros genotipos. El objetivo fue recolectar selecciones provenientes de 'Hass' x 'Pionero' (HxP) y también sus segundas generaciones filiales (F2), para determinar algunas características nutracéuticas como la concentración de aceites, tocoferoles, clorofila, carotenoides (luteína y β -caroteno) y la actividad antioxidante; además de atributos físicos para el consumidor como: tamaño, peso, color de pulpa y de cáscara, calidad externa e interna del fruto, sabor y fibrosidad. Los resultados demostraron que algunas selecciones presentaron apariencia externa (HxP96 y Hxp40) y sabor (HxP38, F2/29 y F2/68) comparable a 'Hass', por lo que podrían ser consideradas para la producción de fruta. Además, se encontró que las selecciones F2/68 y F2/405, presentaron altas cantidades de luteína, las selecciones F2/27 y F2/29 de β -caroteno, y las selecciones HxP40 y F2/114 de α -tocoferol. Mientras que, las selecciones HxP40, HxP96, F2/249 y F2/405 podrían integrarse a la industria de

1Universidad Autónoma Chapingo-Departamento de Fitotecnia. Km. 38.5 carretera México-Texcoco, Chapingo, Texcoco Estado de México, México. C.P. 56230

*Autor para correspondencia. teremd13@gmail.com

los aceites para el consumo humano, por el tipo y concentración de aceite monoinsaturado del mesocarpio.

Palabras clave: α -tocoferol, β -caroteno, luteína, selecciones.

ABSTRACT

Avocado (*Persea americana* Mill.) is a fruit rich in monounsaturated fatty acids (MUFA), tocopherols, ascorbic acid, pyridoxine, carotenoids (β -carotene and lutein), potassium, among other components (Ozdemir & Topuz, 2004). These metabolites have various beneficial effects on the human body since they can help reduce the risk of cardiovascular diseases by acting as antioxidant agents. For this reason, in recent years its nutraceutical value has been evaluated in commercial cultivars such as 'Hass' or 'Fuerte', leaving aside other genotypes. The objective was to collect selections from 'Hass' x 'Pionero' (HxP) and their second filial generations (F2), to determine some nutraceutical characteristics such as the concentration of oils, tocopherols, chlorophyll, carotenoids (lutein and β -carotene) and antioxidant activity; in addition to physical attributes for the consumer such as: size, weight, color of pulp and shell, external and internal quality of the fruit, flavor and fibrousness. The results showed that some selections presented external appearance (HxP96 and Hxp40) and flavor (HxP38, F2/29 and F2/68) comparable to 'Hass', so they could be considered for fruit production. In addition, it was found that the selections F2/68 and F2/405 presented high amounts of lutein, the selections F2/27 and F2/29 of β -carotene, and the selections HxP40 and F2/114 of α -tocopherol. While the HxP40, HxP96, F2/249 and F2/405 selections could be integrated into the oil industry for human consumption, due to the type and concentration of monounsaturated oil in the mesocarp.

Key words: α -tocopherol, β -carotene, lutein, selections

. INTRODUCCIÓN

La demanda del mercado de aguacate ha crecido en los últimos años y en 2017 la producción mundial de aguacate estuvo cerca de los 6 millones de toneladas, destacando México como el mayor productor con el 34 %. Esto se debe a la amplia aceptación del fruto por parte de los consumidores de todo el mundo, no solo por su excelente sabor, sino también por ser una de las pocas frutas con alto contenido de ácidos grasos monoinsaturados (AGMI), además de ser rico en tocoferoles, ácido ascórbico, piridoxina, β -carotenos y potasio (Ozdemir & Topuz, 2004). Dichos componentes tienen diversos efectos benéficos en el cuerpo humano, ya que puede contribuir a reducir el riesgo de enfermedades cardiovasculares, actuar como agentes antioxidantes e incluso (en el caso de luteína y zeaxantina) ayudar a disminuir la incidencia de cataratas o problemas relacionados con la pérdida de la vista (Gurr, 1992; Mares-Perlman, 2002; Bernstein, 2001). Debido a esto, el estudio de aspectos nutricionales en el aguacate ha sido de interés general desde hace varios años; sin embargo, la mayoría de las investigaciones se centran en variedades comerciales como 'Hass' 'Lam Hass' y 'Fuerte', dejando de lado otros genotipos mejorados producidos en centros de investigación.

Por esta razón, en el presente se estudiaron genotipos provenientes de cruzas de 'Hass' por 'Pionero' obtenidas en la Fundación Salvador Sánchez Colín-CICTAMEX, S. C. en cuanto a algunas características nutraceuticas como la cantidad de aceites, tocoferoles y carotenoides (principalmente luteína y β -caroteno; además de aspectos físicos y sensoriales que sean deseables para el consumidor como: tamaño, peso, color de pulpa y de cáscara, calidad externa e interna del fruto, sabor y fibrosidad.

MATERIALES Y MÉTODOS

Como materiales vegetales se emplearon frutos de aguacate recolectados del programa de cruzas controladas de los cultivares 'Hass' x 'Pionero' (HxP) y sus segregantes (F2), que se establecieron en un huerto vivero desde el año 2002 a una distancia de 1 m entre árboles y 2 m de distancia entre hileras en un arreglo

rectangular. El huerto se ubica en el Centro experimental Rancho la Labor de la Fundación Salvador Sánchez Colín-CICTAMEX, S. C. perteneciente al municipio de Temascaltepec. De estas cruas se cosecharon 12 genotipos y se compararon con 'Hass' provenientes del mismo sitio. De cada genotipo se cosecharon 10 frutos en madurez fisiológica (9 de febrero del 2020) evitando daños mecánicos o raspaduras. Los frutos se llevaron al laboratorio de frutales del departamento de Fitotecnia de la Universidad Autónoma Chapingo, donde se pesaron con ayuda de una báscula marca Ohaus SP202Scout Pro® con un 0.01 g de legibilidad, esto con el fin de saber el peso inicial de los frutos y con ese dato obtener el porcentaje de pérdida de peso fisiológico (PFP) al llegar a la madurez comercial usando la fórmula siguiente:

$$PFP = 100 - \left[\frac{\text{Peso fresco de los frutos}}{\text{Peso Inicial de los frutos}} \times 100 \right]$$

Posteriormente, los frutos se sometieron a temperatura ambiente (25 °C) por aproximadamente 10 días hasta lograr la madurez comercial, durante este periodo se tomaron datos de cambios de color cada tercer día en el exocarpio con ayuda de un colorímetro marca Konica Minolta® para lo cual se marcó un área para que la lectura fuera realizada en la misma parte del fruto en todas las ocasiones. Una vez obtenidos, los datos se transformaron en coordenadas CIELAB con las fórmulas siguientes propuestas por diversos autores (Granville, 2002; López & Gómez, 2004; Schanda, 2007):

$$C = (a^2 + b^2)^{0.5}$$

$$h = \arctan (b/a)$$

$$\text{Cuando: } a < 0, h = \arctan (b/a) + 180$$

Una vez que los aguacates estuvieron aptos para el consumo, se procedió a evaluar parámetros de calidad que se presentan abajo con una escala hedónica con valores numéricos del 1 al 5 (Wekwete & Navder, 2008).

Atributo de calidad	Escala 1-5	
	Valor =1	Valor= 5
Calidad externa	Nada atractiva	Muy atractiva
Calidad interna	Nada atractiva	Muy atractiva
Textura	Arenosa, seca o poco cremosa	Cremosa y fresca
Sabor	Insípido o muy herbal	Excelente sabor
Fibrosidad	Sin presencia al paladar	Muy fibroso (difícil de masticar)

Para obtener el porcentaje de materia seca en pulpa, se usaron los datos provenientes de la liofilización (secado en frío) se define como el proceso de aislar una sustancia sólida de una solución congelando la solución y luego evaporando el hielo al vacío; dicho proceso se hizo con base a lo reportado por Souza et al. (2015), con algunas modificaciones, para ello las muestras de pulpa se cortaron en cubos de aproximadamente 1 cm y se congelaron en bolsas herméticas Ziploc® a -80 °C en un ultracongelador Termo Fisher®. Las muestras congeladas y etiquetadas se introdujeron en frascos de liofilización de 600 ml y se conectaron a una liofilizadora LABCONCO® modelo 7753022, que previamente se estabilizó a -50 °C y 0.18 mBar de vacío durante 120 h. Posteriormente se obtuvo el porcentaje de materia seca con la fórmula descrita por Hausch et al. (2020).

$$Materia\ seca\ (\%) = \frac{Peso\ seco\ de\ la\ pulpa}{Peso\ fresco\ de\ pulpa} \times 100$$

La determinación del porcentaje de aceite se realizó con la metodología de Rosenthal et al. (1985). Para ello se pesaron 2 g de pulpa de aguacate con ayuda de una báscula Ohaus SP202Scout Pro®, posteriormente se introdujo en un butirómetro al que se le adicionó 12 ml de ácido sulfúrico (H₂SO₄) a 70 %, esta mezcla se agitó y se sumergió en baño maría durante 30 min a 55 ± 2 °C para digerir la pulpa y obtener una sustancia oscura y líquida. Posteriormente, los

butirómetros se llenaron a 2/3 de su capacidad y se centrifugo durante 20 min, después de lo cual se sometieron a otro baño maría durante 5 min, después de lo cual se tomaron las lecturas del cuello graduado del butirómetro.

Para cuantificar la cantidad de clorofila y carotenoides presentes en la pulpa de aguacate se pesaron 5 g a los que se les adicionaron 25 ml de acetona (C_3H_6O) al 80 %, se dejó reposar la mezcla por un periodo de 24 h, posteriormente se filtraron y se midieron las absorbancias 645, 652 y 663 nm, por triplicado. Con los datos obtenidos se procedió a aplicar las siguientes fórmulas para obtener el contenido de los pigmentos expresados en $\mu g/g^{-1}$ (Craker,1971; Ross, 1974; Harmut,1987).

$$Clorofila\ Total\ (a+b) = 7.15 A_{663} + 18.71 A_{646}$$

$$Carotenoides\ totales = 1000 A_{476} - 1.82C_a - 85.02C_b$$

La cuantificación de luteína y β -caroteno se basó en el método de Lu et al. (2009) con algunas modificaciones, para ello se pesaron 0.5 g de pulpa liofilizada de cada genotipo y se agregó a 1 ml de una solución 1:1 éter de petróleo-tolueno con ayuda de una centrifuga a 3500 rpm durante 5 min y se dejó reposar en oscuridad durante 24 h. La muestra preparada se inyectó en un cromatógrafo líquido de alta precisión Agilent ® modelo 1100 equipado con un inyector automático modelo 1200, y un detector de arreglo de diodos modelo 1100 con una columna Hypersil de 12.5 mm x 4.5 mm de diámetro interno con un volumen de inyección de 20 μl . Los resultados obtenidos se expresaron en mg 100 g^{-1} de pulpa seca.

Para determinar la cantidad de vitamina E (α -tocoferol), 10 g de muestra seca se suspendieron en 100 mL de éter etílico, se dejaron macerando por 24 h a 25 °C; posteriormente se filtraron y el extracto se evaporó a sequedad en un rotavapor Büchi R-215®. El aceite obtenido se disolvió en acetona (100 mg mL^{-1}) y se filtró con acrodiscos de nylon de 0.45 μm . 1 μL de las muestras fueron inyectadas en el cromatógrafo de gases en modo splitless. Para la curva de calibración se

empleó el estándar de α -tocoferol: 1.- ($\pm$)- α -tocoferol marca Sigma-Aldrich (Zhang et al.,2016).

La actividad antioxidante (ABTS) se basó en el método de Méndez-Zúñiga et al. (2019). El extracto se obtuvo mezclando 1 g de pulpa molida con 10 mL de diclorometano en un sonicador Cole Parmer® durante 20 min a temperatura ambiente. La mezcla se dejó en reposo por 24 horas en oscuridad, enseguida se centrifugo a 1409 g durante 15 min, posteriormente se filtró. Del sobrenadante se extrajeron 30 μ l a los que se le añadió 3 mL de solución del radical ABTS y se dejó reaccionar durante 7 min para medir la absorbancia en un espectrofotómetro de dos celdas a una longitud de onda de 734 nm usando el etanol absoluto como blanco para. Los resultados se obtuvieron a partir de una curva de calibración a base de trolox ($R^2=0.99$) para obtener la cantidad de trolox equivalente por cada gramo de pulpa (mmol g^{-1}).

La unidad experimental consistió en un fruto. Para el caso de los cambios de color y pérdida de peso se realizaron 10 repeticiones por observación; mientras que, para el porcentaje de aceite, materia seca, cantidad de carotenos y los contenidos de clorofilas se realizaron tres repeticiones por genotipo. Para la determinación de actividad antioxidante por el método ABTS se realizaron seis repeticiones por muestra. En todos estos casos el diseño experimental utilizado fue completamente al azar y se hicieron comparaciones de medias de Tukey ($p<0.05$). Por otro lado, la escala hedónica se basó en 10 repeticiones y el análisis aplicado fue una prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis, para lo cual se asignaron rangos a las observaciones obtenidas y estos se compararon con prueba de Tukey ($p<0.05$), para saber si existió diferencia entre los genotipos evaluados. Absolutamente todos los análisis estadísticos de este estudio se analizaron empleando el Sistema de Análisis Estadístico Versión 9.1.3 (SAS Institute Inc.).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El tiempo estimado para lograr la madurez de consumo (Cuadro 1) desde el momento de cosecha varió entre cada uno de materiales recolectados, donde los

frutos de F2/237 tardaron más en madurar al llegar a los 12.3 días. Mientras que 'Hass' y F2/258 tardaron al menos 9 días para madurar, y no coincidió con los 5 a 7 días que dura este proceso a temperatura ambiente en aguacates 'Hass' (Satriana et al., 2019; Araujo et al., 2018), valores que si fueron similares en los genotipos restantes.

Cuadro 1. Comparación de días a madurez de consumo (DM) peso al momento de la cosecha en g (PC) y porcentaje de pérdida fisiológica de peso a días de madurez (PPDM) en 13 genotipos de aguacate.

Genotipo	DM	PC		PPDM	
'HASS'	9.50	250.35	cd ^z	13.92	cde ^z
HxP38	7.00	281.85	bc	14.10	bcde
HxP40	7.00	185.95	def	15.92	ab
HxP49	7.80	250.47	cd	13.93	cde
HxP/96	7.40	324.35	b	13.54	cde
F2/27	7.00	182.84	def	14.50	bcde
F2/29	7.40	204.22	def	12.13	fe
F2/68	7.30	231.01	cdef	12.03	fe
F2/114	7.00	173.19	ef	12.92	fe
F2/237	12.30	235.69	cde	18.14	a
F2/258	9.90	607.86	a	16.92	ab
F2/249	7.80	167.01	f	15.22	bcd
F2/405	7.00	211.12	def	9.43	f
DMSH		68.16		2.84	
CV		17.71 %		13.30 %	

DMSH: Diferencia mínima significativa honesta. CV: Coeficiente de variación. ^z Medias con las mismas letras dentro de las columnas no difieren estadísticamente ($P \leq 0.05$) de acuerdo con comparaciones de Tukey.

Las variaciones en los tiempos de maduración que presentaron los genotipos evaluados pudieron verse influenciados por el aumento del contenido de la glucosa, ya que esta puede estimular la síntesis de ácido abscísico y por lo tanto la maduración, también la tasa de maduración del fruto puede aumentar al incrementarse la concentración o la actividad de celulasa (Blakey et al., 2012). Además, durante el aumento de la maduración el contenido de carotenoides disminuye, esta disminución se ha asociado al uso de estos precursores del ácido abscísico (Cervantes-Paz et al., 2021). Una característica física que nos da una idea del estado de madurez del fruto de aguacate es la firmeza, ya que frutos

recién cosechados poseen una textura extremadamente firme (62.9 N), pero al iniciar su maduración el fruto cambia su microestructura celular generando un ablandamiento (14.92 N), esto debido a un gran aumento en la actividad de las enzimas hidrolíticas del mesocarpio durante la maduración (Ortiz-Viedma et al., 2018; Sánchez-Quezada et al., 2021).

Se observaron diferencias estadísticas de peso de los frutos al momento de la cosecha (madurez fisiológica; Cuadro 1); encontrando que el genotipo F2/258 fue el más sobresaliente estadísticamente con un peso de 607.86 g esta característica lo hace similar a los pesos encontrados por Araujo et al. (2018) en las variedades 'Ettinger' (570g), 'Lula' (680 g) y 'Dikey' (680 g). Sin embargo, el tamaño y peso es demasiado grande comparado a lo que el mercado consume usualmente acostumbrado al peso de los aguacates 'Hass', por lo que tal vez no tendrían una buena aceptación por parte de los consumidores, ya que los aguacates considerados de primera clase presentan pesos de entre 150-250 g (Ramírez-Gil et al., 2017). En contraste, los genotipos F2/249 (167.01 g), HxP40 (185.95 g), F2/27(182.84 g), F2/29 (204.22 g), F2/68 (231.01 g), F2/114(173.19 g) y F2/405(211.12 g) presentaron los frutos más pequeños, aunque no fueron estadísticamente diferentes entre ellos. En el caso del cv. Hass, el peso promedio en este estudio fue de 250.3 g que fue similar estadísticamente ($p < 0.05$) al de los genotipos HxP38, HxP40, F2/27, HxP49, F2/29, F2/68, F2/237 y F2/405. Los cuales presentan pesos similares a los indicados en el cultivar Hass (Arpaia et al., 2015) y Blakey et al. (2012) de 219-278 g, respectivamente, en aguacates enfocados a la exportación. Lo que nos indica nuevamente que, si la selección de aguacate fuera por peso, hay varios genotipos similares al cv. Hass. Las enormes variaciones en los pesos encontradas en este estudio se deben a diversos factores como el genotipo, las condiciones climáticas y las prácticas agrícolas realizadas durante el cultivo del aguacate (Araujo et al., 2018). Por eso en muchos estudios se manejan intervalos de pesos inclusive en frutos del mismo genotipo.

El porcentaje de total de pérdida de peso durante el proceso de maduración de los diversos frutos de aguacate (Cuadro 1), varió de manera importante, siendo los materiales que maduraron a los 7 días (F2/405, F2/68 y F2/29) los que menos peso perdieron (9.43 a 12.23 %) y fueron estadísticamente iguales entre ellos ($p < 0.05$) pero significativamente diferentes en comparación a los otros materiales evaluados incluidos el cv. Hass; lo que podría darles ventaja competitiva en el mercado. Estos porcentajes de pérdida fueron muy similares a los encontrados por (García et al., 2021) en aguacate cv. Hass en temperatura ambiente a los seis días de madurez. Sin embargo, estas pérdidas son mayores al 6 % según Iñiguez-Moreno et al. (2020) durante el mismo periodo y temperatura. Por el contrario, los genotipos que perdieron mayor peso F2/237, F2/258 y HxP40 (15.9-18.14 %) fueron estadísticamente iguales ($p < 0.05$) entre ellos, cabe destacar que estos materiales maduraron más tarde en promedio a los demás y que al compararlos con García et al. (2021) resultó ser similar a las lecturas obtenidas a los 9 días de almacenamiento a temperatura ambiente. Sin embargo, estos resultados no coinciden a los encontrados por Iñiguez-Moreno et al. (2020), que a los 15 días encontraron una pérdida máxima de peso de 14 a 16 %. Las pérdidas de peso se pueden reducir usando bajas temperaturas, tal y como lo informó Cenobio-Galindo et al. (2019), en aguacates 'Hass' almacenados a 6 °C, donde las pérdidas a los 10 y 40 días de almacenamiento fueron de 9.8 y 30 %, respectivamente. Según García et al. (2021) la difusión de la fase de vapor es el principal impulsor de la pérdida de humedad en frutas y verduras debido al gradiente de presión de vapor de agua entre el interior y el exterior de la fruta; por lo cual cambios en la humedad relativa del ambiente de almacenamiento influyen en la pérdida de agua y en consecuencia del peso. Otros factores que influyen en esta pérdida son la transferencia de oxígeno y la actividad enzimática, lo cual se disminuye al usar temperaturas de almacenamiento bajas y recubrimientos. En el caso de recubrimientos a base de ceras o compuestos procedentes de aminoácidos no polares hidrofóbicos que bloquean la migración de humedad de la fruta al medio ambiente.

De las selecciones evaluadas en este estudio, se observó que los frutos de Hxp38, Hxp40, Hxp49 y F2/405, presentaron coloraciones similares a las de 'Hass', al llegar a la madurez de consumo; es decir tonalidades oscuras, púrpuras o negras, lo que es de suma importancia, ya que se puede usar como indicador de maduración (Magwaza & Tesfay, 2015). Los genotipos que mostraron tonalidades oscuras, púrpuras o negras en su madurez de consumo, tenían un color verde al momento de la cosecha, que según Gómez-López (2002) se debe a una alta presencia de clorofila. Sin embargo, cambian de tonalidad con el tiempo debido a una degradación de clorofila y un aumento o síntesis de compuestos como carotenoides y antocianinas (Arzate-Vázquez et al., 2011; Cenobio-Galindo et al., 2019). Por otro lado, otros autores atribuyeron este cambio de color principalmente al aumento de una sola antocianina llamada cianidina 3-O-glucosido (Mpho et al., 2013; Ramos-Aguilar et al., 2021).

Los cambios de color en el exocarpo se registraron en tres parámetros: Luminosidad(L), Croma (C) y ángulo de tono o Hue (h°), donde se observó diferencias a lo largo del periodo de maduración. Por ejemplo, se pudo notar que al día uno de observación las selecciones F2/258, F2/29 y F2/27 fueron estadísticamente similares; con valores de luminosidad de 36.25, 32.90 y 31.13, respectivamente (Cuadro 2). Estos valores de luminosidad fueron parecidos a los encontrados en aguacate 'Hass' cosechado en madurez fisiológica, cuyos valores oscilaron entre 33.4 y 38.3, lo que ubica a los frutos con una coloración verde oscuro en la cáscara del fruto (García et al., 2021). Mientras que las selecciones HxP38, HxP40, HxP49, HxP96, F2/114, F2/237, F2/249 y F2/405 tuvieron los valores más bajos y no presentaron diferencias estadísticas ($p < 0.05$) entre ellas, estos genotipos presentaron valores entre 24.15 a 29.92, lo que indica que el color de la cáscara del fruto fue de un color verde claro.

Cuadro 2 . Cambios de luminosidad (L) en la cáscara de frutos de 13 genotipos de aguacate (*Persea americana* Mill.) durante el periodo de maduración a temperatura ambiente.

Genotipo	Fechas de observación							
	10/02/2020		12/02/2020		14/02/2020		16/02/2020	
'Hass'	30.27	bc ^z	30.01	bc	27.50	cd	22.31	f
HxP38	27.77	bcd	27.12	cd	23.23	d	22.25	f
HxP40	27.95	bcd	26.60	cd	25.60	cd	23.99	ef
HxP49	29.92	bcd	29.25	bcd	29.22	bc	27.71	cde
HxP96	28.03	bcd	26.71	cd	26.91	cd	25.31	cdef
F2/27	31.13	abc	30.75	abc	28.75	bc	28.61	bcd
F2/29	32.90	ab	33.05	ab	32.60	ab	32.64	ab
F2/68	30.22	bc	20.75	abc	29.33	bc	29.28	bc
F2/114	26.87	cd	25.91	cd	27.69	cd	27.76	cde
F2/237	28.76	bcd	28.24	bcd	28.44	bc	28.06	cde
F2/249	27.37	cd	27.84	bcd	26.05	cd	25.08	def
F2/258	36.25	a	37.72	a	35.07	a	33.50	a
F2/405	24.15	d	24.12	d	23.70	d	22.79	f
DMSH	5.46		5.40		4.52		4.07	
CV	12.33 %		12.34 %		10.67 %		10.02 %	

DMSH: Diferencia mínima significativa honesta. CV: Coeficiente de variación. ^zMedias con las mismas letras dentro de las columnas no difieren estadísticamente ($P \leq 0.05$) de acuerdo con comparaciones de Tukey.

Los valores de luminosidad tendieron a disminuir al avanzar el tiempo, de tal manera que en el último día de medición todos los valores de luminosidad fueron menores en comparación a los observados en el primer día, es decir que el color de la cáscara fue volviéndose más oscuro (Nunes et al., 2015), destacando los genotipos cv. Hass, HxP38, HxP40, HxP96, F2/249, F2/405, que presentaron los valores más bajos, son estadísticamente iguales entre ellos; en contraste, las variedades F2/29 y F2/258 que no presentan diferencias significativas entre ellas tuvieron más luminosidad en la cáscara.

En el caso de croma o saturación del color (C), se observó que, en la primera medición, que las selecciones HxP38, HxP40, F2/27, F2/29 y F2/258 fueron estadísticamente iguales con valores que oscilaron entre 21.05 y 27.62 (Cuadro 3), aunque fueron estadísticamente iguales entre ellos. Aunque de manera general cabe mencionar que todos los valores se encontraron entre 15.11 y

27.62, lo cual es similar al rango de 19.19 - 28.60 indicado por Sandoval & Hernández (2021), en frutos de 'Hass' en madurez de cosecha. Al igual que en luminosidad, la cromaticidad disminuyó a lo largo del tiempo, hasta que todos los valores fueron menores a los observados al inicio del estudio, lo que indicó que a través del tiempo el color del fruto fue menos intenso.

Cuadro 3. Comparación de los valores de Chroma (C) en 13 genotipos de aguacate (*Persea americana* Mill.) durante el periodo de maduración a temperatura ambiente.

Genotipo	Fechas de observación							
	10/02/2020		12/02/2020		14/02/2020		16/02/2020	
'Hass'	17.26	c ^z	24.35	abc	16.23	c	8.32	c
HxP38	21.05	abc	17.10	d	15.87	c	12.57	bc
HxP40	21.19	abc	20.61	abcd	17.02	c	16.42	b
HxP49	17.69	c	20.48	abcd	16.94	c	16.30	b
HxP96	18.52	c	18.05	cd	16.01	c	15.41	b
F2/27	21.45	abc	19.48	bcd	19.16	bc	18.23	ab
F2/29	26.19	ab	26.44	ab	24.49	ab	23.51	a
F2/68	19.40	bc	22.06	abcd	17.07	c	19.05	ab
F2/114	18.60	c	17.70	cd	17.40	c	16.04	b
F2/237	19.04	c	20.23	abcd	18.18	bc	18.01	ab
F2/249	19.91	bc	19.39	bcd	14.98	c	15.45	b
F2/258	27.62	a	26.99	a	26.46	a	24.33	a
F2/405	15.11	c	17.41	cd	13.18	c	12.66	bc
DMSH	6.98		7.17		6.76		6.71	
CV	22.81 %		22.80 %		24.92 %		26.66 %	

DMSH: Diferencia mínima significativa honesta. CV: Coeficiente de variación.

^zMedias con las mismas letras dentro de las columnas no difieren estadísticamente ($P \leq 0.05$) de acuerdo con comparaciones de Tukey.

En el caso del ángulo Hue o tono de color (Cuadro 4), en el primer día de observación se apreció que el genotipo F2/237 (114.01) y F2/405 (75.76) fueron estadísticamente diferentes; presentando el primer genotipo el valor mayor. El ángulo de color nos indicó que la cáscara presentaba un color más verde amarillento, en comparación al otro que presentaron un color verde más oscuro.

Durante el proceso de maduración existió variaciones en Hue, donde las selecciones F2/114 y F2/237(113.29 y 109.56) fueron estadísticamente iguales

entre ellos , aunque fueron diferentes y mayores a los valores obtenidos por 'Hass' (53.72), Además, durante esta última observación se notó que las selecciones 'Hass', HxP38, HxP40,F2/27,F2/68 y F2/237 tendieron a tener valores menores al final del periodo de maduración; mientras que las selecciones HXP49, HXP96, F2/29, F2/114, F2/249, F2/258 y F2/405 presentaron aumentos en el valor de hue en la fase final de la maduración.

Cuadro 4. Comparación de medias de los valores de ángulo HUE (h°) en 13 genotipos de aguacate (*Persea americana* Mill.) durante el periodo de maduración a temperatura ambiente

Genotipo	Fechas de observación							
	10/02/2020		12/02/2020		14/02/2020		16/02/2020	
'Hass'	97.42	ab ^z	111.24	a	94.98	ab	53.72	e
HXP38	86.78	ab	89.78	ab	74.28	b	69.78	de
HXP40	76.73	ab	77.14	b	94.12	ab	74.04	cde
HXP49	86.99	ab	94.87	ab	96.12	ab	87.15	abcd
HXP96	82.87	ab	97.89	ab	98.94	ab	100.32	abc
F2/27	102.10	ab	98.52	ab	101.61	ab	93.92	abcd
F2/29	97.84	ab	103.93	ab	102.98	ab	108.29	ab
F2/68	107.27	ab	111.24	a	106.87	ab	103.42	ab
F2/114	96.40	ab	102.04	ab	108.88	a	113.29	a
F2/237	114.01	a	101.13	ab	109.41	a	109.56	a
F2/249	89.70	ab	102.83	ab	92.13	ab	90.67	abcd
F2/258	84.86	ab	93.68	ab	96.45	ab	91.51	abcd
F2/405	75.76	b	76.83	b	91.49	ab	79.54	bcde
DMSH	38.03		29.61		33.07		28.90	
CV	27.27 %		20.21 %		22.41 %		21.14 %	

DMSH: Diferencia mínima significativa honesta. CV: Coeficiente de variación. ^zMedias con las mismas letras dentro de las columnas no difieren estadísticamente ($P \leq 0.05$) de acuerdo con comparaciones de Tukey.

En el caso de la calidad externa de las variedades evaluadas, se encontró que los frutos de HxP96 y HxP40 fueron estadísticamente iguales ($p < 0.05$) entre ellos y fueron tan atractivos como el cv. Hass, con valores de 114.30, 108.90 y 98.70, respectivamente (Cuadro 5); en contraste las variedades F2/258 y F2/27 (16.65 y 14.00) presentaron los valores más bajos, lo que los ubicó como los menos atractivos. Es importante mencionar que los genotipos mejor evaluados en esta variable presentaron cáscaras similares a las de 'Hass', las cuales se caracterizaron por ser más coriáceas y delgadas que las presentes en los

aguacates de raza guatemalteca, por lo que con una presión suave sobre los frutos se puede saber si la pulpa se ha ablandado para su consumo; además cáscaras similares a las de 'Hass' se asocian con un buen éxito comercial, ya que le confiere resistencia al manejo poscosecha y posibilita la comercialización del fruto a mercados distantes (Tan et al., 2017; Araújo et al., 2018); por otra parte, se sabe que las texturas gruesas del exocarpo similares al cv. Hass, proporcionan al fruto mayor tolerancia a trastornos poscosecha, como pudrición bacteriana y antracnosis (Tan, 2019).

En el caso de frutos con cáscaras delgadas similares a los criollos mexicanos, en donde destacan los genotipos F2/27 y F2/258, la cáscara presentaba pequeños agrietamientos y manchas corchosas de color café en la mayor parte de su superficie (40 %), con una apariencia similar a frutos infectados con roña (*Elsinoe perseae*) y que se reconocen por la apariencia corchosa de los tejidos infectados más antiguos con apariencia de costras (Marín-Félix et al., 2019).

De la evaluación sensorial de la calidad interna de los 13 genotipos comparados entre sí, se encontró que 'Hass', HxP96, F2/29, F2/249 y F2/68 no presentaron diferencias estadísticas entre ellos y obtuvieron los valores más altos oscilando entre 81.50 y 99.0 (Cuadro 5 y Figura 1), donde 'Hass' en cuanto a calidad interna podría ser sustituido por algunos de estos materiales. En contraste, las pulpas menos atractivas se observaron en F2/114, F2/258 y F2/405, que no presentaron diferencias estadísticas entre ellos al realizar la comparación de medias de Kruskal-Wallis. La percepción de la apariencia interna no solo afecta a ésta, si no que según Ahmed et al. (2010) el color interno afecta la percepción de dulzura y sabor por parte del consumidor. En este caso se observó que pulpas con tonalidades amarillo demasiado pálidas no son atractivas en comparación a pulpas que presentan tonalidades verdes pálido a amarillo brillante (Bill et al., 2014). Además, en algunos casos la calificación fue afectada por la presencia visible de fibra, lo que hacía que el fruto se viera correoso. Cabe destacar que, según Marín-Obispo et al. (2021), la apariencia del fruto juega un papel muy

importante en la aceptabilidad del aguacate, ya que existe una correlación entre ambos parámetros ($r = 0.87$, $P < 0.05$).



Figura 1. Aspecto visual del interior de los frutos provenientes de 13 genotipos de aguacate (*Persea americana* Mill.).

En el caso de sabor (Cuadro 5), se notó que tanto 'Hass', HxP38, F2/29 y F2/68 fueron estadísticamente iguales ($P < 0.05$) entre sí, lo que indicó que los genotipos presentaron sabores muy similares. Cabe indicar que existe una tendencia actual por el consumidor a preferir sabores similares a 'Hass', debido a que esta variedad representa el 85-90 % de la producción comercial de aguacate en la actualidad a nivel mundial (Decco, 2018; Tan, 2019; Denvir et al., 2021). Según Hausch et al. (2021) y Marín-Obispo et al. (2021), el sabor de un aguacate puede variar según la región y el cultivar. En contraste, se encontró que los frutos de F2/27, F2/258 y F2/405 con valores de 21.10, 16.80 y 12.50, respectivamente, presentaron los valores más bajos, sin embargo, fueron estadísticamente iguales entre ellos. Esto pudo deberse a la presencia de un sabor casi imperceptible al paladar, o un sabor a hierba; esta tendencia fue similar a lo reportado por Cañete

et al. (2018) y Marín-Obispo et al. (2021). Además, Obenland et al. (2012) encontró que una disminución en la fibrosidad correspondía a un mayor gusto.

Cuadro 5. Promedios por genotipo y significancia estadística de las comparaciones de Calidad externa (CALEX), calidad interna (CALIN), sabor (SA), fibrosidad (FI) y textura (TX) en 13 genotipos de aguacate al momento de la madurez de consumo.

GEN	CALEX.		CALIN.		SA.		FI.		TX	
'Hass'	114.30	a ^z	94.15	ab	104.50	a	28.40	gh	98.00	a
HxP38	90.60	bc	59.15	d	91.45	ab	83.80	bc	82.40	ab
HxP40	98.70	a	62.10	cd	82.75	bc	99.60	ab	92.80	a
HxP49	67.95	de	78.55	cb	80.05	bc	52.60	ed	63.95	c
HxP96	108.90	a	99.00	a	82.75	bc	36.65	efg	98.00	a
F2/27	14.00	h	47.55	d	21.10	e	48.20	def	30.45	d
F2/29	47.35	fg	94.15	ab	87.10	abc	79.85	c	87.60	ab
F2/68	42.55	g	94.15	ab	91.45	ab	62.05	d	61.60	c
F2/114	35.00	g	28.20	e	39.40	d	87.75	bc	30.45	d
F2/237	72.90	de	79.60	cb	71.35	c	33.35	fgh	87.60	ab
F2/249	80.00	cd	81.50	ab	70.30	c	113.25	a	72.00	bc
F2/258	16.65	h	14.40	e	16.80	e	18.50	h	36.95	d
F2/405	62.60	ef	19.00	e	12.50	e	107.50	a	9.70	e
To	96.20		87.96		93.46		93.60		88.09	
DMSH	17.30		18.33		17.51		17.56		18.13	

To: Estadístico de Kruskal-Wallis. ^zLas pruebas estadísticas(literales) corresponden a las comparaciones de rangos de Kruskal-Wallis. Medias con las mismas letras dentro de las columnas no difieren estadísticamente ($P \leq 0.05$) de acuerdo con comparaciones de rango.

En cuanto a la textura (Cuadro 5), se observó que los frutos de 'Hass', HxP38, HxP40, HxP96, F2/29 y F2/237 con valores que van de 82.40 a 98.0, fueron los más altos y estadísticamente similares entre ellos. El alto puntaje se debió a la presencia de texturas cremosas/mantecosas, y coincidió esta tendencia con lo mencionado por Obenland et al. (2012) y Pereira et al. (2014). En este caso se podría decir que estos genotipos parecidos a 'Hass' tienen una textura similar a 'Fuerte' y 'Jiménez II', evaluados por Marín-Obispo et al. (2021), en los aguacates 'Hass' estudiados en Estados Unidos, México, Chile y Perú, los atributos cremoso, suave y mantecoso se asociaron con mayor frecuencia con los aguacates con altos puntajes hedónicos, de los 25 atributos sensoriales

disponibles para la selección (Obenland et al., 2012). Estas texturas agradables al paladar se pueden ver aumentadas al aumentar la cantidad de aceite en la pulpa (Magwaza & Tesfay, 2015). En contraste, se encontró que el genotipo F2/405 con un valor de 9.70 fue calificado con la textura más desagradable entre los genotipos evaluados. Esta baja evaluación se debió a que los frutos fueron muy acuosos, demasiados suaves y tenían una textura demasiado firme o corchosa. Los valores obtenidos en este genotipo indicaron que podrían ser similares en textura a 'Ariete', 'Fundación II' y 'Labor' que tuvieron la percepción más baja al ser comparados con 'Hass' (Marín-Obispo et al., 2021).

En el análisis sensorial de la fibrosidad de los frutos evaluados, consistió en la detección de la percepción de los haces vasculares lignificados presentes en la pulpa. Este parámetro puede influir en el gusto percibido en el alimento. En el caso de los genotipos evaluados F2/405 y F2/249 con valores de 107.50 y 113.25, respectivamente, se observó que fueron similares estadísticamente y los peores en cuanto al gusto al paladar. Mientras que 'Hass', HxP96, F2/237 y F2/258 fueron iguales estadísticamente y presentaron los valores más bajos. Nuevamente, volvemos a encontrar materiales sobresalientes similares al cv. Hass en cuanto a características hedónicas respecta.

La cantidad de materia seca, que es un indicador fisiológico de madurez y cosecha en aguacate (Espinosa-Alonso et al., 2017), de los genotipos evaluados (Cuadro 6), osciló entre 37.1 y 21.4 %, donde destacó la selección HxP40; y siendo estadísticamente igual a HxP96, al cv. Hass, F2/114 y F2/405. Por otro lado, la selección F2/258 obtuvo el menor valor de materia seca (21.4%) y fue estadísticamente diferente a todos los demás genotipos; además cabe destacar que las selecciones F2/27, F2/29 Y F2/237 no presentaron diferencias estadísticas entre ellos y formaron parte de los grupos con menor cantidad de materia seca.

Cuadro 6. Porcentaje de materia seca (MS) y porcentaje de aceite (Aceite) en 13 genotipos de aguacate (*Persea americana* Mill.) al momento de la madurez de consumo.

Genotipo	MS (%)		Aceite (%)	
'Hass'	37.100	abc ^z	26.25	abc
HxP38	30.530	de	19.58	cde
HxP40	40.200	a	34.17	a
HxP49	30.833	d	20.00	cde
HxP96	38.900	ab	33.75	a
F2/27	27.267	ef	22.50	bcd
F2/29	26.900	f	15.42	de
F2/68	34.530	c	16.00	ed
F2/114	37.367	abc	23.75	bcd
F2/237	25.467	f	20.83	cd
F2/249	36.733	bc	25.42	abc
F2/258	21.400	g	11.67	e
F2/405	37.533	abc	30.00	ab
DMSH	3.32		8.84	
CV	3.42 %		12.94 %	

DMSH: Diferencia mínima significativa honesta. CV: Coeficiente de variación. ^zMedias con las mismas letras dentro de las columnas no difieren estadísticamente ($P \leq 0.05$) de acuerdo con comparaciones de Tukey.

De manera general, se encontró que, todos los genotipos obtuvieron valores mayores a 20.8 % el mínimo requerido por la industria del aguacate de California (Marín-Obispo et al., 2021); y que los valores estuvieron cercanos a los intervalos de 21.32 a 32.77 % y 28.5 a 36.7 % indicado para aguacates 'Hass' con calidad de exportación (Blakey et al., 2012; Bill et al., 2014; Donetti & Terry, 2014). Los altos porcentajes encontrados en las selecciones evaluadas en este estudio son de vital importancia, ya que autores como Magwaza & Tesfay (2015), encontraron que a medida que aumento la materia seca de 20 a 38 %, aumento la aceptabilidad de la fruta y en consiguiente la intensión de compra por parte del consumidor.

En el caso del porcentaje de aceite (Cuadro 6), los genotipos Hass, HxP40, HxP96, F2/249 y F2/405 no presentaron diferencias estadísticas, sin embargo, mostraron los contenidos de aceite más altos (34.17 a 25.42 %) similares a los indicados por Bill et al. (2014) en los cultivares 'Gloria' (26 %), 'Fuerte' (30 %) y

'Hass' (31 %). Por otro lado, los frutos de F2/258 fueron estadísticamente iguales a las selecciones HxP38, HxP49, F2/68, con un contenido de aceite entre 11.67-20 %; en contraste, estos contenidos de aceite se asemejaron a los obtenidos por Marín-Obispo et al. (2021) en frutos de 'Fuerte' (21.3 %) y 'Hass' (17.7 %). En general, la variación en los contenidos de aceite encontrados en este trabajo coincidió con lo reportado por Quiñones et al. (2013); con valores entre 8 y 30 %. La alta cantidad de aceite presente en el fruto de aguacate en comparación a otros frutos, probablemente como consecuencia de procesos coevolutivos desarrollados con la antigua megafauna neotropical que se extinguió hace unos 30000 a 11000 años (Ibarra-Laclette et al., 2015).

Según Mahendran et al. (2019), la fracción lipídica presente en los frutos de aguacate se compone de fosfolípidos, glicolípidos y triacilglicerol que son ricos en ácidos grasos entre los que destacan el ácido oleico (C₁₈), ácido palmítico (C₁₆), el ácido α -linoleico y el ácido linoleico; que representan el 75.16, 14.72, 3.57 y 3.37 % de los ácidos grasos, respectivamente (Alkhalaf et al., 2019). Además, autores como Arackal & Parameshwari (2021), destacaron la presencia de vitaminas liposolubles como A, D y tocoferoles, poco frecuente en frutos; así mismo se reportó la presencia de otros compuestos derivados de ácidos grasos como: avocatinas, pahuatinas, perseninas y alcoholes grasos polihidroxilados (Alkhalaf et al., 2019). La amplia diferencia en el contenido de aceite encontrado en los frutos del presente estudio se ha atribuido a las condiciones de crecimiento, las prácticas culturales, el genotipo y la época de cosecha, ya que se ha encontrado que frutos cosechados al final de la temporada poseen un mayor contenido de aceite (Villa-Rodríguez et al., 2011; Bill et al., 2014; Magwaza & Tesfay, 2015).

En el caso de la clorofila total (Cuadro 7), se encontró que la selección F2/114 fue mayor y estadísticamente diferente al grupo conformado por los genotipos 'Hass', HxP40, F2/27, F2/249, F2/258, F2/405, que presentaron valores que oscilaron entre 28.29-39.05 $\mu\text{g g}^{-1}$. Los valores de este grupo de genotipos se

encontraron en el intervalo (22.3 y 69.8 $\mu\text{g g}^{-1}$) reportado por Flores et al. (2014) en pulpa de aguacate.

Cuadro 7. Comparación de la cantidad de pigmentos presentes en la pulpa de 13 genotipos de aguacate (*Persea americana* Mill.)

Genotipo	Clorofila total ($\mu\text{g g}^{-1}$)		Carotenos totales ($\mu\text{g g}^{-1}$)	
'Hass'	39.03	bc ^z	9.95	a
HxP38	57.5	abc	12.09	a
HxP40	30.08	c	6.91	a
HxP49	60.29	abc	12.83	a
HxP96	45.65	abc	10.23	a
F2/27	29.01	c	6.52	a
F2/29	66.63	abc	10.80	a
F2/68	90.23	ab	13.80	a
F2/114	94.06	a	13.13	a
F2/237	74.71	abc	16.28	a
F2/249	29.08	c	5.52	a
F2/258	28.29	c	7.064	a
F2/405	35.24	c	8.81	a
DMSH	51.93		11.36	
CV	33.47 %		37.17 %	

DMSH: Diferencia mínima significativa honesta. CV: Coeficiente de variación. ^zMedias con las mismas letras dentro de las columnas no difieren estadísticamente ($P \leq 0.05$) de acuerdo con comparaciones de Tukey.

Cabe destacar que la cantidad de clorofila obtenida en todos los genotipos de este estudio fue menor a lo reportado por Mozz et al. (2012) en frutos de 'Dickinson' y 'Butter pear', y menor a lo reportado en aguacate 'Breda' (180 $\mu\text{g g}^{-1}$) por Krumreich et al. (2018). Sin embargo, todos los genotipos evaluados en este estudio, a excepción de F2/258, presentaron valores mayores a 28.7 $\mu\text{g g}^{-1}$ encontrado en pulpa de aguacate por Zuñiga-Martínez et al. (2021).

Además, se pudo notar que el contenido de clorofila de las selecciones HxP38, HxP49, HxP96 y 'Hass' se aproximó bastante a lo encontrado por Mozz et al. (2012) en aguacates maduros producidos en nueva Zelanda (40-60 $\mu\text{g g}^{-1}$). Las diferencias observadas entre los genotipos evaluados y lo reportado por otros autores, ya fue señalada con anterioridad por Peraza-Magallanes et al. (2017), que encontró variaciones en el contenido de clorofila de entre un 7 y 96 % en

pulpas de aguacates tipo 'Hass' (HT). En el caso de los frutos con un alto contenido de clorofilas (Cuadro 7) como la selección F2/114, podrían tener una ventaja en el área de extracción de aceite, ya que se ha encontrado que altos contenidos de pigmentos como las clorofilas conlleva a una mejor apariencia del aceite al darle tonos verdes esmeralda (Manaf et al., 2018). Sin embargo, este alto contenido también puede tener efectos negativos, ya que las clorofilas pueden causar un efecto negativo en la estabilidad oxidativa del aceite debido a su fácil fotooxidación cuando se expone a la luz y al oxígeno (Qin & Zhong, 2016). Los frutos con elevados contenidos de clorofila, como F2/114, podrían ser útiles en el área farmacéutica; según Zúñiga-Martínez et al. (2021), estos compuestos pueden ejercer efectos quimiopreventivos, que están parcialmente relacionados con sus actividades antioxidantes y anti mutagénicas, además de tener efectos antimicrobianos y antiinflamatorios.

En el caso de los carotenoides, pigmentos naturales, el contenido oscilo entre los 6.51 y 16.28 $\mu\text{g g}^{-1}$ y no se observó diferencia estadística entre ninguno de los genotipos evaluados. Esta fluctuación en el contenido de carotenoides se puede deber a diversos factores como la etapa de maduración, el almacenamiento y la preparación poscosecha del fruto; sin embargo, en este caso la diferencia en el contenido de estos compuestos es afectado por la variedad genética de cada selección evaluada (Mardigan et al., 2018). Esta variación genética provoca diferencias en la transcripción de genes relacionados con la biosíntesis de carotenoides, como licopeno β ciclasa, fitoeno sintasa, fitoeno desaturasa, y ζ -caroteno desaturasa, entre otros; estos genes se han relacionado con el contenido total de carotenoides (Ramos-Aguilar et al., 2021).

Es importante destacar que los genotipos evaluados en este estudio tuvieron valores superiores a los reportados por Mardigan et al. (2018), en pulpas de frutos de 'Choquette' y 'Brenda' ($2.7 \mu\text{g g}^{-1}$), indicador importante en el mejoramiento genético de aguacate, ya que los carotenoides junto con otros compuestos fenólicos poseen propiedades antioxidantes y antiinflamatorias (Santana et al., 2019). La actividad antioxidante de estos pigmentos se debe a su eficiente

capacidad de extinguir oxígeno singuletes y de eliminar especies de oxígeno reactivas; este potencial antioxidante es de importancia para la salud humana, debido a que la pérdida del equilibrio de las especies de oxígeno reactivas antioxidantes da como resultado "estrés oxidativo", un factor crítico en los procesos patogénicos de varios trastornos crónicos (Fiedor & Burda, 2014). Por esta razón, el consumo de carotenoides tiene efectos, anticancerígenos, antiinflamatorios anti mutagénicos y de reducción de colesterol en el cuerpo humano (Le Goff et al., 2019).

Entre los carotenoides, se encuentran la luteína y β -caroteno (Cuadro 8 y Figura 2), potentes antioxidantes presentes en la pulpa del aguacate, además de que la luteína y su isómera zeaxantina tienen influencia en la tonalidad de la pulpa. En el caso del aguacate, la luteína es de suma importancia, ya que se encuentra en mayor proporción en este fruto que en cualquier otro (Bhuyan et al., 2019).

En el caso de los genotipos evaluados, se encontró que el contenido de luteína en pulpa fluctuó entre 0.018 y 0.713 mg 100 g⁻¹, siendo la selección F2/68 y F2/405 las de mayor contenido, respectivamente. La selección F2/29 (0.298 mg 100 g⁻¹) presento valores cercanos a lo reportado en pulpa de aguacate 'Hass' cultivado en Nueva Zelanda (0.32 mg 100 g⁻¹) y a 0.271 mg 100 g⁻¹ mencionado por Lye et al. (2020). Además, todos los resultados obtenidos se encontraron en el intervalo indicado por Jiménez et al. (2021) en pulpas de aguacate 'Hass' (0.015-0.842 mg 100 g⁻¹). La determinación del contenido de luteína es de suma importancia, ya que este pigmento resulta ser altamente protector contra la progresión de la aterosclerosis temprana en humanos y animales al reducir las lipoproteínas de muy baja densidad y las lipoproteínas de densidad intermedia, al reducir la inflamación y el estrés oxidativo en la pared arterial (Cicccone et al., 2013; Cervantes-Paz & Yahia, 2021). Además, el consumo de este metabolito retrasa la progresión de la degeneración macular relacionada con la edad, las cataratas y el deterioro del cartílago, así como una mejora en la salud cognitiva (Eisenhauer et al., 2017; Bhuyan et al., 2019; Jiménez et al., 2021). Por estas razones, selecciones como F2/405 y HxP38, podrían ser una alternativa para

producir aceites de consumo doméstico con un alto valor agregado (Mooz et al., 2012) o como fruto fresco.

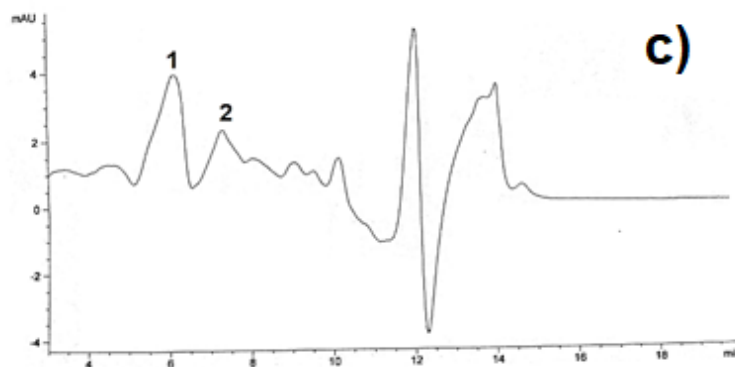
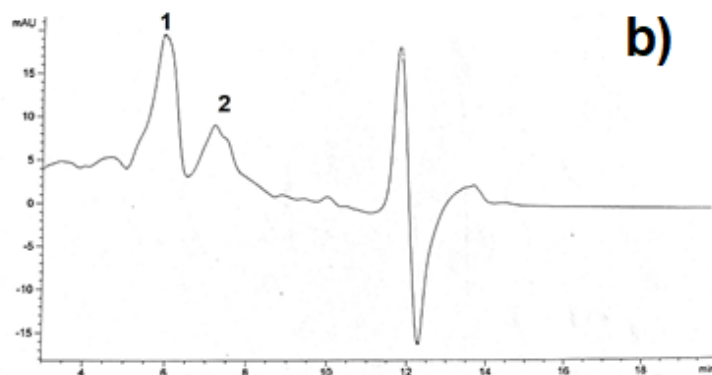
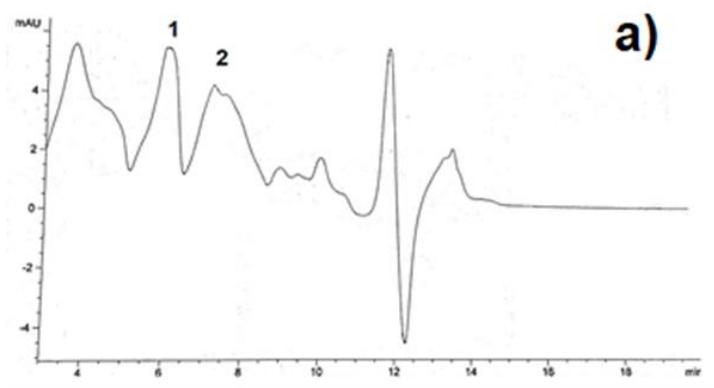
En el caso del β -caroteno (Cuadro 8 y Figura 2), 10 selecciones se encontraron en el intervalo 0.038-9.87 mg 100 g⁻¹ reportado por Jiménez et al. (2021). Cabe destacar que a pesar de tener muy bajas concentraciones de β -caroteno, las selecciones HxP40 y F2/258 presentaron valores superiores a los 0.006 y 0.009 mg 100 g⁻¹ a los señalados por otros autores (Monge-Rojas & Campos, 2011; Villa-Rodríguez et al., 2020; Ramos-Aguilar et al., 2021).

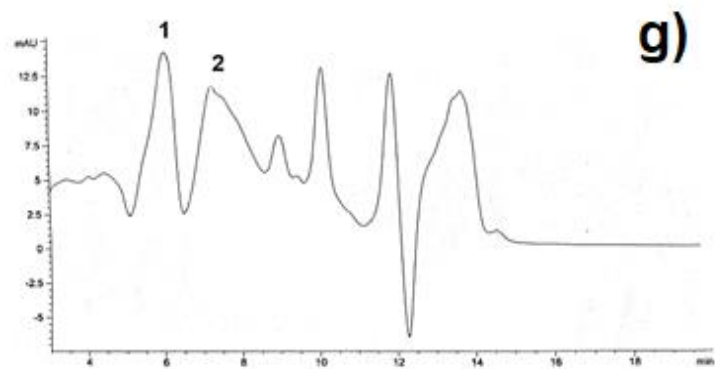
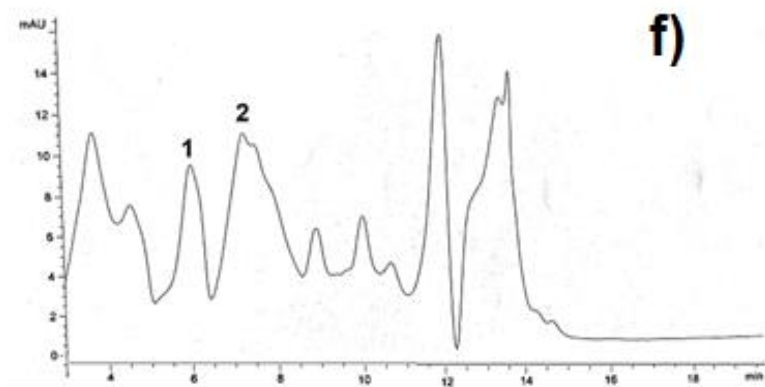
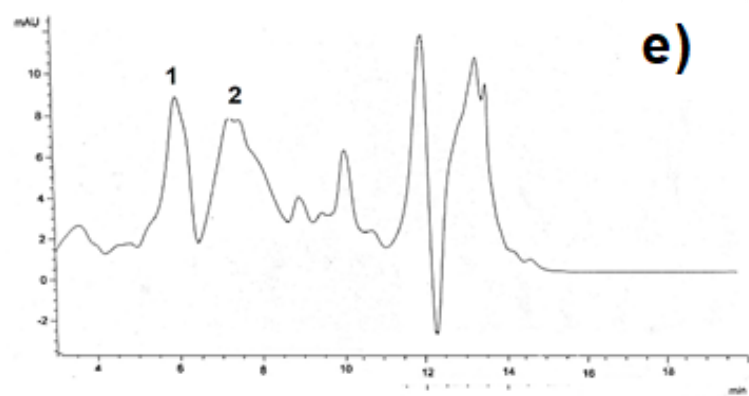
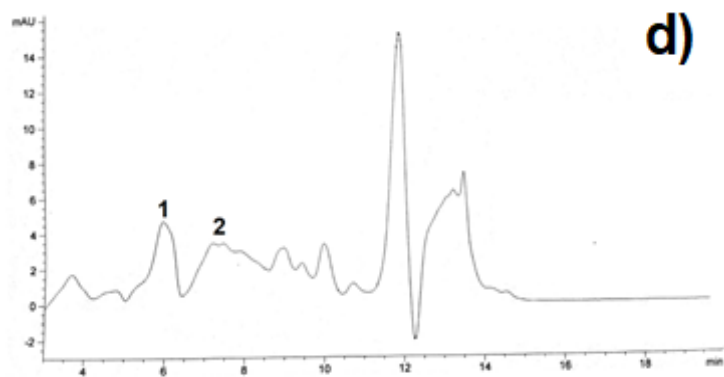
Cuadro 8. Cantidad de luteína y β -caroteno en 13 genotipos de aguacate (*Persea americana*).

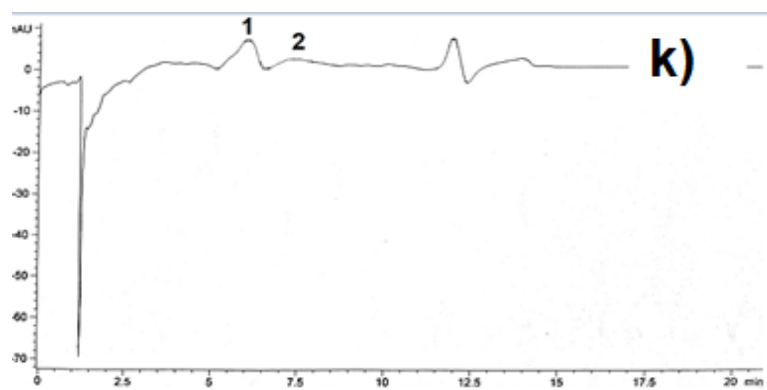
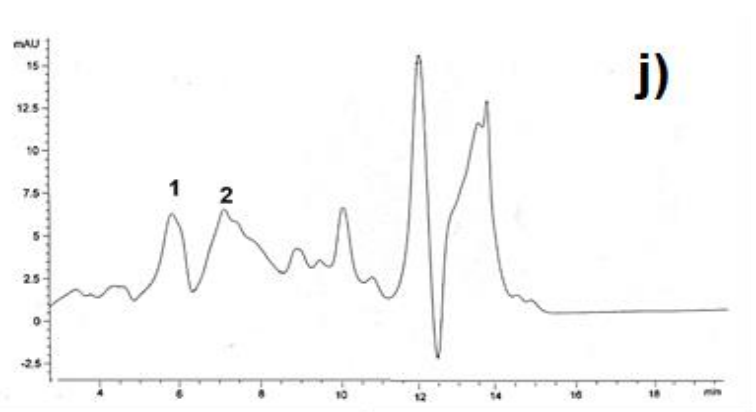
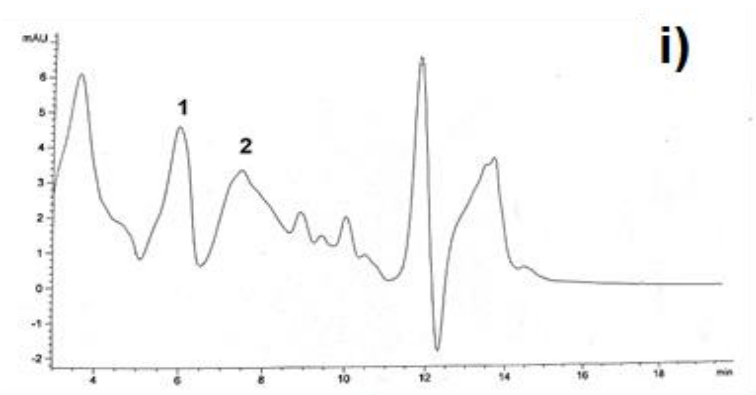
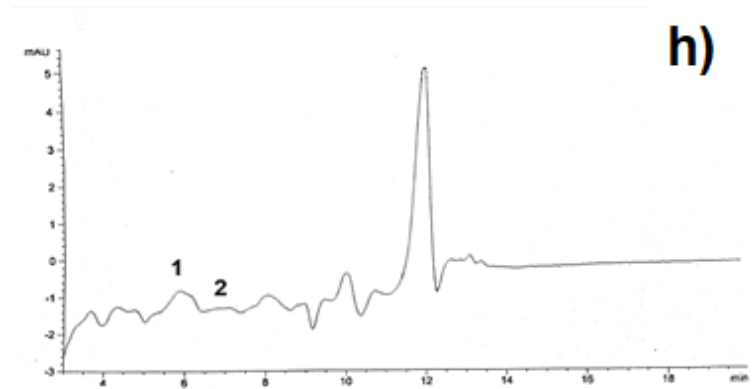
Genotipo	Luteína (mg 100 g ⁻¹)	β -Caroteno (mg 100 g ⁻¹)
'Hass'	0.115	0.08
HxP38	0.408	0.081
HxP40	0.093	0.016
HxP49	0.078	0.06
HxP96	0.135	0.138
F2/27	0.143	0.189
F2/29	0.298	0.187
F2/68	0.018	0.004
F2/114	0.102	0.054
F2/237	0.091	0.095
F2/249	0.181	0.053
F2/258	0.09	0.017
F2/405	0.713	0.038

Las selecciones F2/27 y F2/29 presentaron altos valores de este compuesto superiores a 'Hass'; esto es de suma importancia, ya que tiene una alta capacidad antioxidante y ofrece una variedad de beneficios para la salud, como reducir el riesgo de enfermedades cardíacas y ciertos tipos de cáncer, así como mejorar el sistema inmunológico disminuyendo la probabilidad de accidentes cerebrovasculares (Gul et al., 2015; Huang et al., 2018; Coronel et al., 2019). Por esta razón la ingesta de productos agrícolas con cantidades importantes de β -caroteno se ha vuelto popular a tal grado que se ha hecho mejoramiento genético

para obtener de cultivos enriquecidos con β -caroteno como el arroz dorado la yuca (Coronel et al., 2019). Por lo tanto, los genotipos anteriormente mencionados son buenos candidatos para hacer mejoramiento genético. Es relevante recalcar que, a pesar de existir vegetales con mayor contenido de luteína y β -caroteno, en el caso del aguacate ambos compuestos se encuentran más disponibles para nuestro organismo, ya que las grasas solubles presentes en el aguacate ayudan a formar micelas mixtas, que facilitan la absorción de estos compuestos durante la digestión (Dreher & Davenport, 2013; Bhuyan et al., 2019).







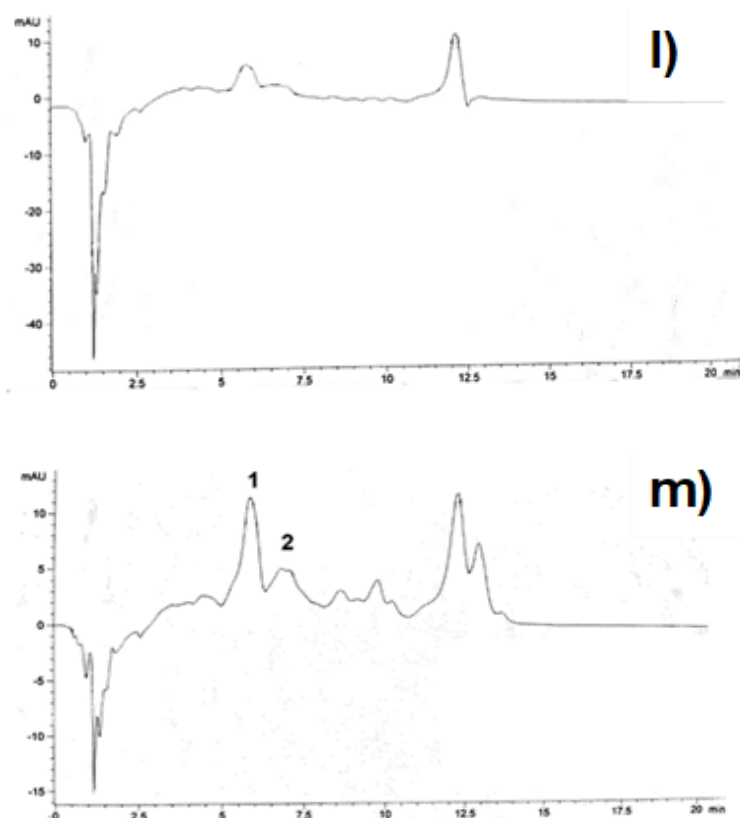
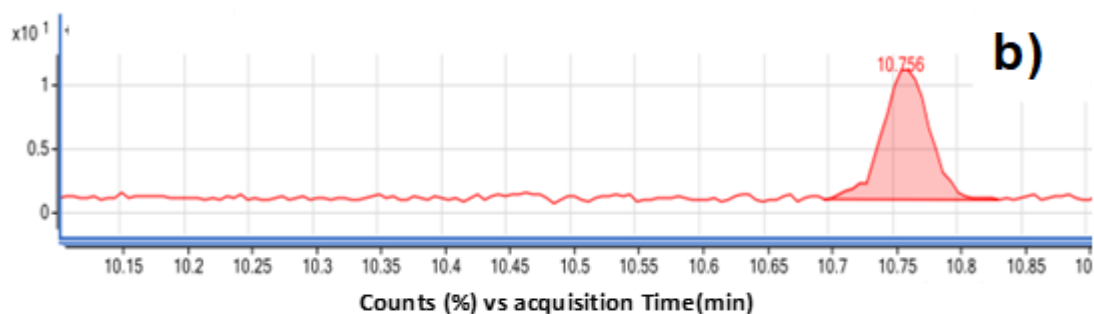
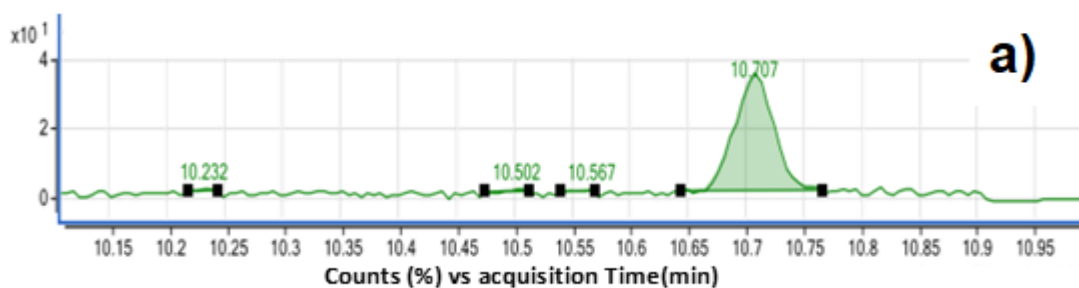


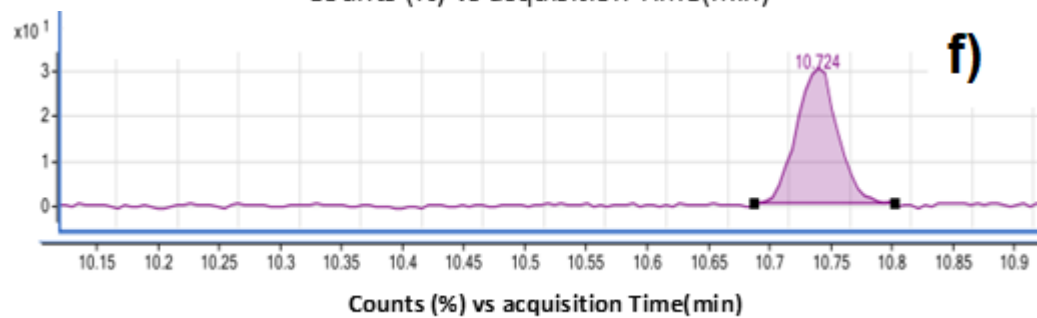
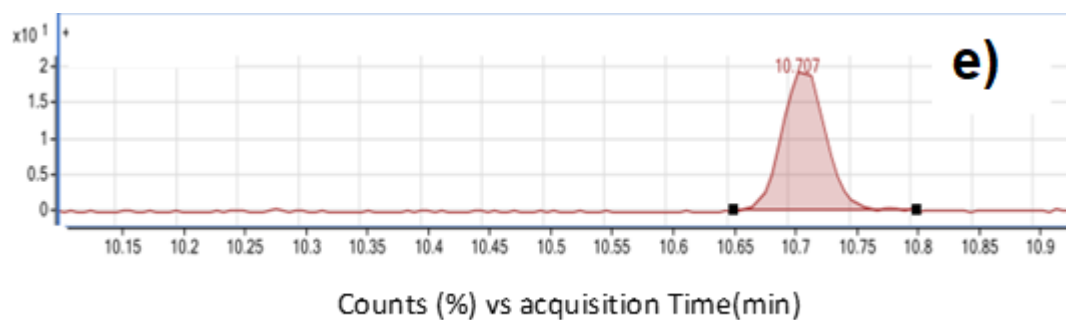
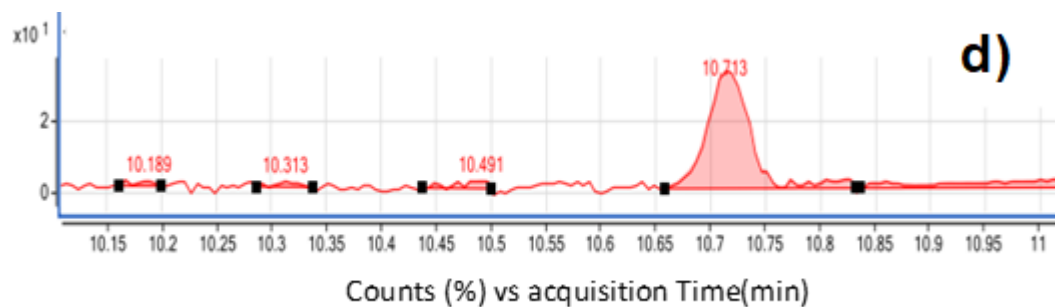
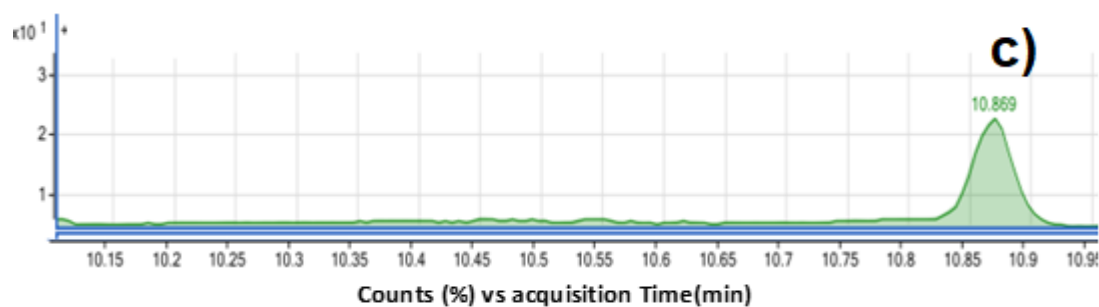
Figura 2. Detección de Luteína (1) y β -caroteno (2) por HPLC en pulpa de aguacate (*Persea americana*). a) 'Hass', b) HxP38, c) HxP40, d) HxP49, e) HxP96, f) F2/27, g) F2/29, h) F2/68, i) F2/114 j) F2/237, k) F2/249, l) F2/258, m) F2/405.

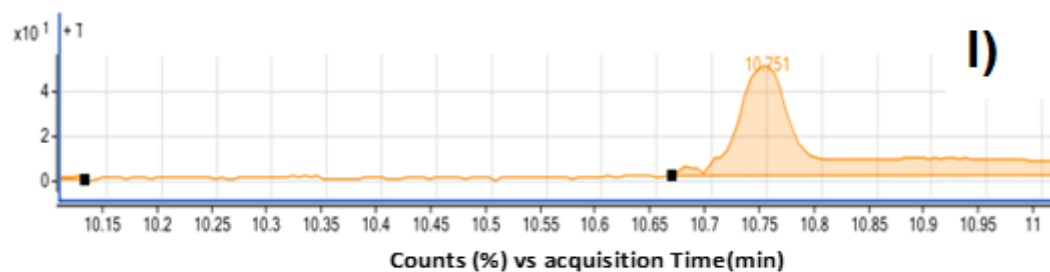
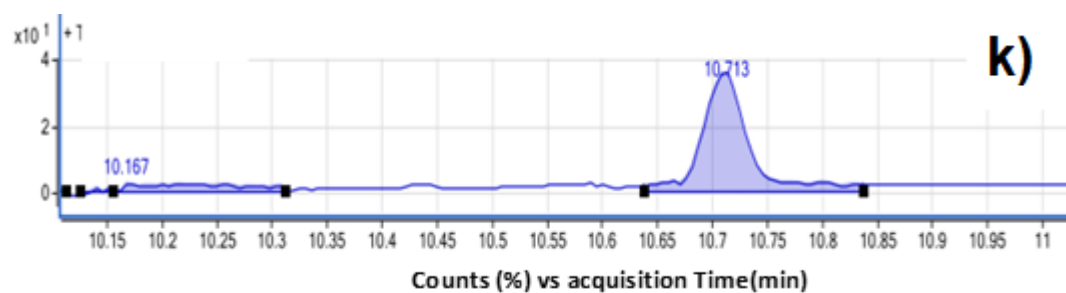
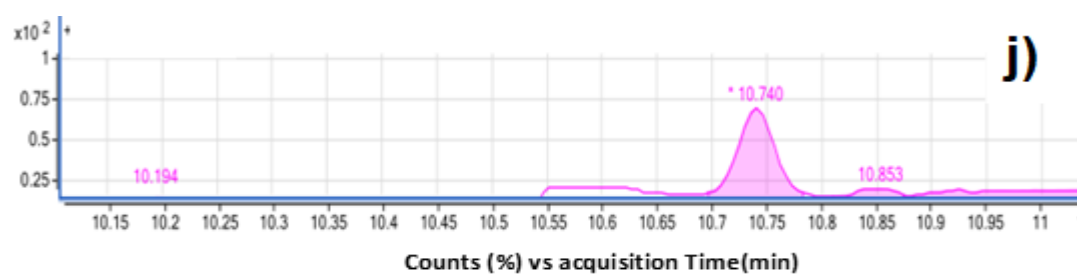
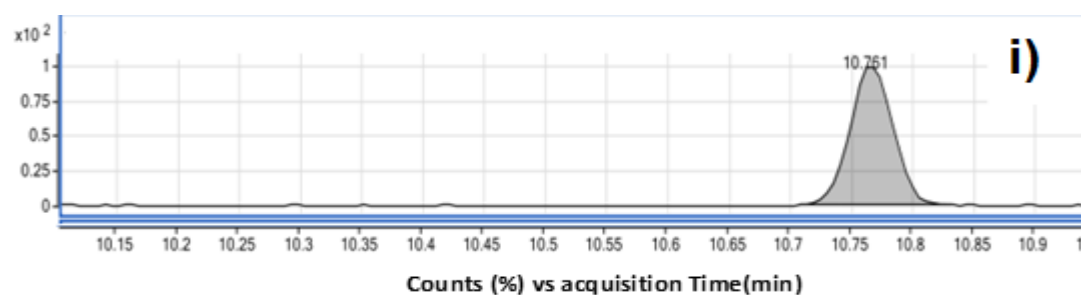
En el caso de los tocoferoles (Cuadro 10 y Figura 3), su cuantificación se realizó con el α -tocoferol, debido a que es el más relevante biológicamente por su abundancia en la naturaleza y en los suplementos para la salud, y también porque es retenido selectivamente en nuestro cuerpo a través de la acción de la proteína transportadora de α TF (α TTP) en el hígado (Chin & Ima-Nirwana, 2014). El cuadro 10 muestra el contenido de este metabolito en las selecciones analizadas, pero con niveles mayores a los encontrados en el cultivar Hass, con una diferencia de más de seis veces comparado con el genotipo HxP40. La cantidad de tocoferoles encontrados en todos los genotipos fue mayor a lo descrito por Peraza-Magallanes et al. (2017) en aguacates 'Hass' (16.27-27.57 mg kg⁻¹) colectados en cuatro diferentes épocas de cosecha.

Cuadro 10. Comparación de α -tocoferol en 13 genotipos de aguacate (*Persea americana* Mill.) maduros.

Genotipo	α -tocoferol (mg kg ⁻¹ de P.S)
'Hass'	38.17
HxP38	40.72
HxP40	237.73
HxP49	39.93
HxP96	54.68
F2/27	67.68
F2/29	52.75
F2/68	59.72
F2/114	170.72
F2/237	54.87
F2/249	43.38
F2/258	78.24
F2/405	72.04







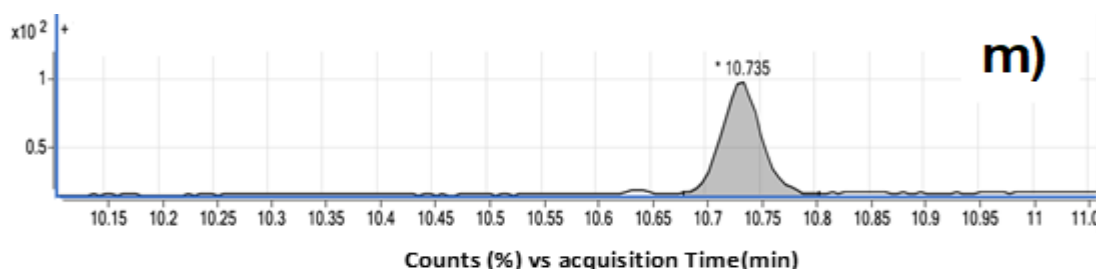


Figura 3. Cuantificación de Vitamina E (α -tocoferol) en 13 genotipos de aguacate (*Persea americana* Mill.) evaluados. a) 'Hass', b) HxP38, c) HxP40, d) HxP49, e) HxP96, f) F2/27, g) F2/29, h) F2/68, i) F2/114, j) F2/237, k) F2/249, l) F2/258 y m) F2/405.

La selección HxP40 ($237.73 \text{ mg kg}^{-1}$) tuvo una cantidad de tocoferol muy cercana a la encontrada por Corzzini et al. (2017) en aceite de pulpa de 'Hass' (282 mg kg^{-1}), que es considerada de las más altas reportadas en aguacate. Las variaciones en el contenido de tocoferoles entre los genotipos de aguacate evaluados en este estudio se pueden deber a factores como la genética, el estrés, las condiciones previas y posteriores a la cosecha. Considerando la variabilidad genética, se ha encontrado que el aumento del contenido de tocoferol está fuertemente relacionado con la expresión génica de la enzima p-hidroxifenilpiruvato dioxigenasa, que es clave para la biosíntesis de tocoferol, al usar este como sustrato para producir tocoferoles (Villa-Rodríguez et al., 2020; Ramos-Aguilar, et al., 2021). Debido al alto contenido de α -tocoferol en la selección HxP40 ($237.73 \text{ mg kg}^{-1}$), esta podría ser considerada de importancia para su uso en el mejoramiento genético; ya que las propiedades del α -tocoferol son valoradas y utilizadas ampliamente en alimentos, productos farmacéuticos y cosméticos (Mahendran et al., 2019). Este metabolito fortalece el sistema inmune, alivia los síntomas de enfermedades inflamatorias y es un antioxidante que actúa a nivel primario al eliminar radicales libres de peroxilo (Ramos-Aguilar et al., 2019; Ramos-Aguilar et al., 2021). Al respecto, Virtamo et al. (2014) y Bhuyan et al. (2019), reportaron que la ingesta de 50 mg al día de α -tocoferol por periodos prolongados reducen la incidencia del cáncer de próstata en un 34 %,

esto al aumentar la aumentar la expresión de una proteína supresora del crecimiento (proteína p27).

En el Cuadro 11 se presenta la actividad antioxidante en los 13 genotipos de aguacate evaluados, destacando la variedad F2/405 que fue estadísticamente similar ($p \leq 0.05$) a lo obtenido en frutos de F2/29 y HxP38, pero superiores a 'Hass'. Los valores observados en el presente estudio se encontraron en el intervalo 11.60 a 88.52 mMol g⁻¹ reportado por Méndez-Zúñiga et al. (2019), quienes evaluaron 12 accesiones de aguacate criollos sin mejoramiento genético.

Cuadro 11. Actividad antioxidante por el método ABTS (trolox con base a peso fresco) presente en pulpa 13 genotipos de aguacate.

Genotipo	Actividad antioxidante mmol TE*g ⁻¹ P.F.	
'Hass'	0.33	de ²
HxP38	0.76	ab
HxP40	0.46	cd
HxP49	0.43	cde
HxP96	0.23	de
F2/27	0.33	de
F2/29	0.82	ab
F2/68	0.19	e
F2/114	0.28	de
F2/237	0.36	de
F2/249	0.63	bc
F2/258	0.37	de
F2/405	1.00	a
DMSH	0.250	
CV	26.49 %	

DMSH: Diferencia mínima significativa honesta. CV: Coeficiente de variación. ²Medias con las mismas letras dentro de las columnas no difieren estadísticamente ($P \leq 0.05$) de acuerdo con comparaciones de Tukey.

La mayoría de los genotipos presentaron valores altos en comparación a los evaluados por los autores mencionados, por lo que, los genotipos analizados en el presente estudio podrían ser de mayor interés para evitar la oxidación y el envejecimiento celular. Las variaciones en la actividad antioxidante pueden deberse a la diversidad genética, perfil de los metabolitos antioxidantes presentes

y al pH presente en cada pulpa de aguacate. En el caso del pH, se ha encontrado que este afecta el mecanismo de reacción del ABTS en la muestra, ya que el pH modifica la transferencia de electrones, haciendo que los valores de actividad antioxidante difieran, como lo mencionaron Zheng et al. (2016) y Apak et al. (2017).

Es importante destacar que, a pesar de existir materiales que poseen una alta capacidad antioxidante en la pulpa, esto no se compara a la que se presenta en el exocarpio, donde esta capacidad varía entre los 16 y 103 mmol equivalentes de trolox por cada g de cáscara, por lo cual en un estudio posterior sería importante evaluar esta variable en la cáscara, ya que de aquí se podría obtener materia prima para suplementos alimenticios.

CONCLUSIONES

Las cruzas de 'Hass' x Pionero (HxP) y sus segundas generaciones filiales (F2) dio como resultado una considerable variabilidad en los frutos obtenidos a partir de ellos, destacando en apariencia externa comparable a 'Hass' las selecciones HxP96 y Hxp40. Así mismo, las selecciones HxP38, F2/29 y F2/68 presentaron sabores similares a 'Hass'; por lo que estas selecciones podrían ser dedicadas para la producción de fruta.

Mientras que, frutos de HxP40, HxP96, F2/249, F2/405 junto con 'Hass', presentaron las mayores cantidades de aceite en el mesocarpio en comparación a los demás genotipos, por lo que tendrían una oportunidad de integrarse a la industria de los aceites. Además, cabe destacar que la selección F2/114 tendría una ventaja competitiva en este ramo, ya que tuvo mayor contenido de clorofila que las demás selecciones y que 'Hass', y como se sabe, altos contenidos de pigmentos como las clorofilas conlleva a una mayor apariencia del aceite.

En este estudio también se observó que algunas selecciones poseían altas cantidades de luteína (F2/68 y F2/405), β -caroteno (F2/27 y F2/29) y α -tocoferol (HxP40 y F2/114) que superaron a los genotipos evaluados e incluso a 'Hass';

por lo que su uso se podría enfocar a la industria farmacéutica o de suplementos, ya que estos compuestos tienen amplios beneficios en la salud humana.

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.
- Alkhalaf, M. I., Alansari, W. S., Ibrahim, E. A., & ELhalwagy, M. E. (2019). Anti-oxidant, anti-inflammatory and anti-cancer activities of avocado (*Persea americana*) fruit and seed extract. *Journal of King Saud University-Science*, 31(4), 1358-1362
- Apak, R., Capanoglu, E., & Shahidi, F. (2017). Evaluation of the antioxidant capacity of food samples: a chemical examination of the oxygen radical absorbance capacity assay. In Apak R., Capanoglu, E., Shahidi, F. (Eds.), *Measurement of Antioxidant Activity and Capacity: Recent Trends and Applications* (pp. 39-52). Wiley.
- Arackal, J. J., & Parameshwari, S. (2021). A detailed evaluation of fatty acid profile and micronutrient analysis of chapattis incorporated with avocado fruit pulp. *Materials Today: Proceedings*, 45, 3268-3273.
- Bill, M., Sivakumar, D., Thompson, A. K., & Korsten, L. (2014). Avocado fruit quality management during the postharvest supply chain. *Food Reviews International*, 30(3), 169-202
- Araújo, R. G., Rodriguez-Jasso, R. M., Ruiz, H. A., Pintado, M. M. E., & Aguilar, C. N. (2018). Avocado by-products: Nutritional and functional properties. *Trends in Food Science & Technology*, 80, 51-60
- 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.
- Bhuyan, D. J., Alsherbiny, M. A., Perera, S., Low, M., Basu, A., Devi, O. A., & Papoutsis, K. (2019). The odyssey of bioactive compounds in avocado (*Persea americana*) and their health benefits. *Antioxidants*, 8(10), 426.
- Bill, M., Sivakumar, D., Thompson, A. K., & Korsten, L. (2014). Avocado fruit quality management during the postharvest supply chain. *Food Reviews International*, 30(3), 169-202.
- Blakey, R. J., Tesfay, S. Z., Bertling, I., & Bower, J. P. (2012). Changes in sugars, total protein, and oil in 'Hass' avocado (*Persea americana* Mill.) fruit during ripening. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 87(4), 381-387.

- Cañete, M. L., Pérez de los Cobos, R., & Hueso, J. J. (2018). Influence of harvest date on sensory quality attributes of avocado 'Hass'. *Acta Horticulturae*, 1194, 1127-1131.
- Ceballos P., Adela., & Montoya B.S. (2013). Chemical evaluation of fiber nib, pulp and three shell avocado varieties. *Biotechnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 11(1), 103-112.
- Cervantes-Paz, B., & Yahia, E. M. (2021). Avocado oil: Production and market demand, bioactive components, implications in health, and tendencies and potential uses. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 20(4), 4120-4158
- Cervantes-Paz, B., Yahia, E. M., de Jesús Ornelas-Paz, J., Victoria-Campos, C. I., Pérez-Martínez, J. D., & Reyes-Hernández, J. (2021). Bioaccessibility of fat-soluble bioactive compounds (FSBC) from avocado fruit as affected by ripening and FSBC composition in the food matrix. *Food Research International*, 139, 109960.
- Chin, K. Y., & Ima-Nirwana, S. (2014). The effects of α -tocopherol on bone: a double-edged sword? *Nutrients*, 6(4), 1424-1441.
- Ciccone, M. M., Cortese, F., Gesualdo, M., Carbonara, S., Zito, A., Ricci, G., ... & Riccioni, G. (2013). Dietary intake of carotenoids and their antioxidant and anti-inflammatory effects in cardiovascular care. *Mediators of Inflammation*, 2013, 1-11.
- Coronel, J., Pinos, I., & Amengual, J. (2019). β -carotene in obesity research: Technical considerations and current status of the field. *Nutrients*, 11(4), 842
- Corzzini, S. C., Barros, H. D., Grimaldi, R., & Cabral, F. A. (2017). Extraction of edible avocado oil using supercritical CO₂ and a CO₂/ethanol mixture as solvents. *Journal of Food Engineering*, 194, 40-45.
- Craker, L. E. (1971). Postharvest color promotion in cranberry with ethylene. *HortScience*. 6(2): 137-139.
- Decco (2018). Global avocado market. Retrieved November 13, 2018, from <https://www.deccopostharvest.com/en/global-avocado-market/>.
- Denvir, A., Arima, E. Y., González-Rodríguez, A., & Young, K. R. (2021). Ecological and human dimensions of avocado expansion in México: Towards supply-chain sustainability. *Ambio*. 51(1), 152–166.
- Donetti, M., & 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.

- Eisenhauer, B., Natoli, S., Liew, G., & Flood, V. M. (2017). Lutein and zeaxanthin—food sources, bioavailability and dietary variety in age-related macular degeneration protection. *Nutrients*, 9(2), 120
- Espinosa-Alonso, L. G., Paredes-López, O., Valdez-Morales, M., & Oomah, B. D. (2017). Avocado oil characteristics of Mexican creole genotypes. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 119(10), 1600406.
- Fiedor, J., & Burda, K. (2014). Potential role of carotenoids as antioxidants in human health and disease. *Nutrients*, 6(2), 466-488.
- Flores, M. A., Perez-Camino, M. D. C., & Troca, J. (2014). Preliminary studies on composition, quality and oxidative stability of commercial avocado oil produced in Chile. *Journal of Food Science and Engineering*, 4(1), 21-26.
- García, F., Lin, W. J., Mellano, V., & Davidov-Pardo, G. (2021). Effect of biopolymer coatings made of zein nanoparticles and ϵ -polylysine as postharvest treatments on the shelf-life of avocados (*Persea americana* Mill. Cv. Hass). *Journal of Agriculture and Food Research*, 100260.
- Granville, M. (2002). Guía para entender la comunicación del color. Inc. X-Rite 2002, 2, 7-14.
- Green, H. S., & Wang, S. C. (2020). First report on quality and purity evaluations of avocado oil sold in the US. *Food Control*, 116, 107328
- Gul, K., Tak, A., Singh, A. K., Singh, P., Yousuf, B., & Wani, A. A. (2015). Chemistry, encapsulation, and health benefits of β -carotene-A review. *Cogent Food & Agriculture*, 1(1), 1018696.
- Gurr, M. I. (1992). Dietary lipids and coronary heart disease: old evidence, new perspective. *Progress in Lipid Research*, 31(3), 195-243.
- Hausch, B. J., Arpaia, M. L., Kawagoe, Z., Walse, S., & Obenland, D. (2020). Chemical characterization of two California-grown avocado varieties (*Persea americana* Mill.) over the harvest season with an emphasis on sensory-directed flavor analysis. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 68(51), 15301-15310.
- Hausch, BJ, Arpaia, ML, Campisi-Pinto, S. y Obenland, DM (2021). Caracterización sensorial de dos variedades de aguacate cultivadas en California (*Persea americana* Mill.) durante la temporada de cosecha mediante análisis descriptivo y pruebas de consumo. *Revista de Ciencias de la Alimentación*, 86(9), 4134–4147. doi:10.1111/1750-3841.15867.

- Harmut, A. (1987). Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic membranes. *Methods in Enzymology*, 148, 350-383.
- Huang, J., Weinstein, S. J., Yu, K., Männistö, S., & Albanes, D. (2018). Serum beta carotene and overall and cause-specific mortality: a prospective cohort study. *Circulation Research*, 123(12), 1339-1349.
- Ibarra-Laclette, E., Méndez-Bravo, A., Pérez-Torres, C. A., Albert, V. A., Mockaitis, K., Kilaru, A., & Herrera-Estrella, L. (2015). Deep sequencing of the Mexican avocado transcriptome, an ancient angiosperm with a high content of fatty acids. *BMC Genomics*, 16(1), 1-18.
- Iñiguez-Moreno, M., Ragazzo-Sánchez, J. A., Barros-Castillo, J. C., Sandoval-Contreras, T., & Calderón-Santoyo, M. (2020). Sodium alginate coatings added with *Meyerozyma caribbica*: Postharvest biocontrol of *Colletotrichum gloeosporioides* in avocado (*Persea americana* Mill. cv. Hass). *Postharvest Biology and Technology*, 163, 111123.
- Jimenez, P., Garcia, P., Quitral, V., Vasquez, K., Parra-Ruiz, C., Reyes-Farias, M., García-Díaz D. Robert P., & Soto-Covasich, J. (2021). Pulp, leaf, peel and seed of avocado fruit: a review of bioactive compounds and healthy benefits. *Food Reviews International*, 37(6), 619-655.
- Krumreich, F. D., Borges, C. D., Mendonça, C. R. B., Jansen-Alves, C., & Zambiazzi, R. C. (2018). Bioactive compounds and quality parameters of avocado oil obtained by different processes. *Food Chemistry*, 257, 376-381.
- Le Goff, M., Le Ferrec, E., Mayer, C., Mimouni, V., Lagadic-Gossmann, D., Schoefs, B., & Ulmann, L. (2019). Microalgal carotenoids and phytosterols regulate biochemical mechanisms involved in human health and disease prevention. *Biochimie*, 167, 106-118.
- Lye, H. S., Ong, M. K., Teh, L. K., Chang, C. C., & Wei, L. K. (2020). Avocado. In Galanakis, C.M. (Ed.), *Valorization of Fruit Processing By-Products* (pp. 67-93). Academic Press.
- López Camelo, A. F., & Gómez, P. A. (2004). Comparison of color indexes for tomato ripening. *Horticultura Brasileira*, 22, 534-537.
- Lu, Q. Y., Zhang, Y., Wang, Y., Wang, D., Lee, R. P., Gao, K. & Heber, D. (2009). California Hass avocado: profiling of carotenoids, tocopherol, fatty acid, and fat content during maturation and from different growing areas. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57(21), 10408-10413.

- Magwaza, L. S., & Tesfay, S. Z. (2015). A review of destructive and non-destructive methods for determining avocado fruit maturity. *Food and Bioprocess Technology*, 8(10), 1995-2011
- Mahendran, T., Brennan, J. G., & Hariharan, G. (2019). Aroma volatiles components of 'Fuerte' Avocado (*Persea americana* Mill.) stored under different modified atmospheric conditions. *Journal of Essential Oil Research*, 31(1), 34-42
- Manaf, Y. N., Rahardjo, A. P., Yusof, Y. A., Desa, M. N., & Nusantara, B. P. (2018). Lipid characteristics and tocopherol content of the oils of native avocado cultivars grown in Indonesia. *International Journal of Food Properties*, 21(1), 2758-2771
- Mardigan, L. P., Santos, V. J. D., Silva, P. T. D., Visentainer, J. V., Gómez, S. T. M., & Matsushita, M. (2018). Investigation of bioactive compounds from various avocado varieties (*Persea americana* Miller). *Food Science and Technology*, 39, 15-21.
- Mares-Perlman, J. A., Millen, A. E., Ficek, T. L., & Hankinson, S. E. (2002). The body of evidence to support a protective role for lutein and zeaxanthin in delaying chronic disease. Overview. *The Journal of Nutrition*, 132(3), 518S-524S.
- Marin-Felix, Y., Hernández-Restrepo, M., Iturrieta-González, I., García, D., Gené, J., Groenewald, J. Z., Cai, L., Chen, Q., Quaedvlieg, W., Schumacher, R. K., Taylor, P., Ambers, C., Bonthond, G., S. A. Krueger-Hadfield, S. A., Morton, L., & Crous, P. W. (2019). Genera of phytopathogenic fungi: GOPHY 3. *Studies in mycology*, 94, 1-124
- Marín-Obispo, L. M., Villarreal-Lara, R., Rodríguez-Sánchez, D. G., Follo-Martínez, D., Espíndola Barquera, M. D. L. C., Díaz de la Garza, R. I., & Hernández-Brenes, C. (2021). Insights into drivers of liking for avocado pulp (*Persea americana*): Integration of descriptive variables and predictive modeling. *Foods*, 10(1), 99.
- Méndez-Zúñiga, S. M., Corrales-García, J. E., Gutiérrez-Grijalva, E. P., García-Mateos, R., Pérez-Rubio, V., & Heredia, J. B. (2019). Fatty acid profile, total carotenoids, and free radical-scavenging from the lipophilic fractions of 12 native Mexican avocado accessions. *Plant Foods for Human Nutrition*, 74(4), 501-507.
- Minolta, K. (2014). Entendiendo el espacio de color CIE L* A* B*. *Recuperado d:[<http://sensing.konicaminolta.com.mx/2014/09/entendiendo-el-espacio-de-color-cie-lab/>].*

- Monge-Rojas, R., & Campos, H. (2011). Tocopherol and carotenoid content of foods commonly consumed in Costa Rica. *Journal of Food Composition and Analysis*, 24(2), 202-216.
- Mooz, E. D., Gaiano, N. M., Shimano, M. Y. H., Amancio, R. D., & Spoto, M. H. F. (2012). Physical and chemical characterization of the pulp of different varieties of avocado targeting oil extraction potential. *Food Science and Technology*, 32(2), 274-280
- Munteanu, I. G., & Apetrei, C. (2021). Analytical methods used in determining antioxidant activity: A review. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(7), 3380.
- Obenland, D., Collin, S., Sievert, J., Negm, F., & Arpaia, M. L. (2012). Influence of maturity and ripening on aroma volatiles and flavor in 'Hass' avocado. *Postharvest Biology and Technology*, 71, 41-50.
- Ortiz-Viedma, J., Rodriguez, A., Vega, C., Osorio, F., Defillipi, B., Ferreira, R., & Saavedra, J. (2018). Textural, flow and viscoelastic properties of Hass avocado (*Persea americana* Mill.) during ripening under refrigeration conditions. *Journal of Food Engineering*, 219, 62-70.
- Ozdemir, F., & Topuz, A. (2004). Changes in dry matter, oil content and fatty acids composition of avocado during harvesting time and post-harvesting ripening period. *Food Chemistry*, 86(1), 79-83.
- Peraza-Magallanes, A. Y., Pereyra-Camacho, M. A., Sandoval-Castro, E., Medina-Godoy, S., Valdez-Morales, M., Clegg, M. T., & Calderón-Vázquez, C. L. (2017). Exploring genetic variation, oil and α -tocopherol content in avocado (*Persea americana*) from northwestern Mexico. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 64(3), 443-449.
- Pereira, M. E. C., Sargent, S. A., Sims, C. A., Huber, D. J., Crane, J. H., & Brecht, J. K. (2014). Ripening and sensory analysis of Guatemalan-West Indian hybrid avocado following ethylene pretreatment and/or exposure to gaseous or aqueous 1-methylcyclopropene. *Postharvest Biology and Technology*, 92, 121-127.
- Qin, X., & Zhong, J. (2016). A review of extraction techniques for avocado oil. *Journal of Oleo Science*, 65(11), 881-888.
- Quiñones-Islas, N., Meza-Márquez, O. G., Osorio-Revilla, G., & Gallardo-Velazquez, T. (2013). Detection of adulterants in avocado oil by Mid-FTIR spectroscopy and multivariate analysis. *Food Research International*, 51(1), 148-154.
- Ramírez-Gil, J. G., Ramelli, E. G., & Osorio, J. G. M. (2017). Economic impact of the avocado (cv. Hass) wilt disease complex in Antioquia, Colombia, crops

- under different technological management levels. *Crop Protection*, 101, 103-115
- Ramos-Aguilar, A. L., Ornelas-Paz, J., Tapia-Vargas, L. M., Ruiz-Cruz, S., Gardea-Béjar, A. A., Yahia, E. M., & Ibarra-Junquera, V. (2019). The importance of the bioactive compounds of avocado fruit (*Persea americana* Mill) on human health. *Biotechnia*, 21(3), 154-162
- Ramos-Aguilar, A. L., Ornelas-Paz, J., Tapia-Vargas, L. M., Gardea-Bejar, A. A., Yahia, E. M., de Jesús Ornelas-Paz, J., & Escalante-Minakata, P. (2021). Metabolomic analysis and physical attributes of ripe fruits from Mexican Creole (*Persea americana* var. *Drymifolia*) and 'Hass' avocados. *Food Chemistry*, 354, 129571
- 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.
- Ross, C. W. (1974). *Plant physiology laboratory manual*. Wadsworth, Belmont, California.
- Rosenthal, I., Merin, U., Popel, G., & Bernstein, S. (1985). Determination of fat in vegetable foods. *Journal of the Association of Official Analytical Chemists*, 68(6), 1226-1228.
- Sánchez-Quezada, V., Campos-Vega, R., & Loarca-Piña, G. (2021). Prediction of the physicochemical and nutraceutical characteristics of 'Hass' avocado seeds by correlating the physicochemical avocado fruit properties according to their ripening state. *Plant Foods for Human Nutrition*, 76(3), 311-318
- Santana, I., Castelo-Branco, V. N., Guimarães, B. M., de Oliveira Silva, L., Peixoto, V. O. D. S., Cabral, L. M. C., & Torres, A. G. (2019). Hass avocado (*Persea americana* Mill.) oil enriched in phenolic compounds and tocopherols by expeller-pressing the unpeeled microwave dried fruit. *Food Chemistry*, 286, 354-36.
- Satriana, S., Supardan, M. D., Arpi, N., & Wan Mustapha, W. A. (2019). Development of methods used in the extraction of avocado oil. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 121(1),
- Schanda, J. (Ed.). (2007). *Colorimetría: comprensión del sistema CIE*. John Wiley & Sons, 63-90.

- Siomos, A. S., & Pontikidou, D. G. (2000). Seasonal changes of dry matter and sugars in the fleshy roots of asparagus seedlings. *Journal of Vegetable Crop Production*, 6(1), 45-52.
- Souza, D. S., Marques, L. G., Gomes, E. D. B., & Narain, N. (2015). Lyophilization of avocado (*Persea americana* Mill.): effect of freezing and lyophilization pressure on antioxidant activity, texture, and browning of pulp. *Drying Technology*, 33(2), 194-204.
- Tan, C. X., Tan, S. S., & Tan, S. T. (2017). Influence of geographical origins on the physicochemical properties of Hass avocado oil. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 94(12), 1431-1437.
- Tan, C. X. (2019). Virgin avocado oil: An emerging source of functional fruit oil. *Journal of Functional Foods*, 54, 381-392.
- Vallejo-Pérez, M. R., Téliz-Ortiz, D., Colinas-León, M. T., La Torre-Almaraz, D., Valdovinos-Ponce, G., Nieto-Ángel, D., & Ochoa-Martínez, D. L. (2015). Alterations induced by Avocado sunblotch viroid in the postharvest physiology and quality of avocado 'Hass' fruit. *Phytoparasitica*, 43(3), 355-364.
- Villa-Rodríguez, J. A., Molina-Corral, F. J., Ayala-Zavala, J. F., Olivas, G. I., & González-Aguilar, G. A. (2011). Effect of maturity stage on the content of fatty acids and antioxidant activity of 'Hass' avocado. *Food Research International*, 44(5), 1231-1237.
- Villa-Rodriguez, J. A., Yahia, E. M., González-León, A., Ifie, I., Robles-Zepeda, R. E., Domínguez-Avila, J. A., & González-Aguilar, G. A. (2020). Ripening of 'Hass' avocado mesocarp alters its phytochemical profile and the in vitro cytotoxic activity of its methanolic extracts. *South African Journal of Botany*, 128, 1-8.
- Virtamo, J., Taylor, P. R., Kontto, J., Männistö, S., Utriainen, M., Weinstein, S. J., & Albanes, D. (2014). Effects of α -tocopherol and β -carotene supplementation on cancer incidence and mortality: 18-Year postintervention follow-up of the Alpha-Tocopherol, Beta-Carotene Cancer Prevention Study. *International Journal of Cancer*, 135(1), 178-185.
- Walker, R. B., & Everette, J. D. (2009). Comparative reaction rates of various antioxidants with ABTS radical cation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57(4), 1156-1161.
- Zhang, R., Shen, W., Wei, X., Zhang, F., Shen, C., Wu, B., & Deng, X. (2016). Simultaneous determination of tocopherols and tocotrienols in vegetable oils by GC-MS. *Analytical Methods*, 8(40), 7341-7346.

- Zheng, L., Zhao, M., Xiao, C., Zhao, Q., & Su, G. (2016). Practical problems when using ABTS assay to assess the radical-scavenging activity of peptides: Importance of controlling reaction pH and time. *Food chemistry*, 192, 288-294
- Zúñiga-Martínez, B. S., Domínguez-Avila, J. A., Wall-Medrano, A., Ayala-Zavala, J. F., Hernández-Paredes, J., Salazar-López, N. J., Villegas-Ochoa M.A., & González-Aguilar, G. A. (2021). Avocado paste from industrial byproducts as an unconventional source of bioactive compounds: characterization, in vitro digestion and in silico interactions of its main phenolics with cholesterol. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 15(6), 5460-5476.