



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE QUÍMICA

## EXTRACCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DEL ACEITE DE LA PULPA DE AGUACATE TIPO HASS (PERSEA AMERICANA MILLER)

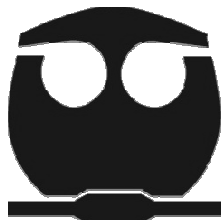
# T E S I S

QUE PARA TENER EL TÍTULO DE

## QUÍMICA DE ALIMENTOS

PRESENTA

**Teresa Melisa Rodríguez Zamora**



MÉXICO, D.F.

2009



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

**JURADO ASIGNADO:**

PRESIDENTE: Prof. Federico Galdeano Bienzobas  
VOCAL: Profa. Francisca Aida Iturbe Chiñas  
SECRETARIO: Prof. Juan Diego Ortiz Palma Pérez  
1ER. SUPLENTE: Profa. María de Lourdes Gómez Ríos  
2DO. SUPLENTE: Prof. Rafael Carlos Marfil Rivera

**SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA:**

Edificio A, L-4A, Departamento de Alimentos y Biotecnología  
Facultad de Química UNAM, Circuito Interior, Ciudad Universitaria. CP. 04510

**ASESOR:**

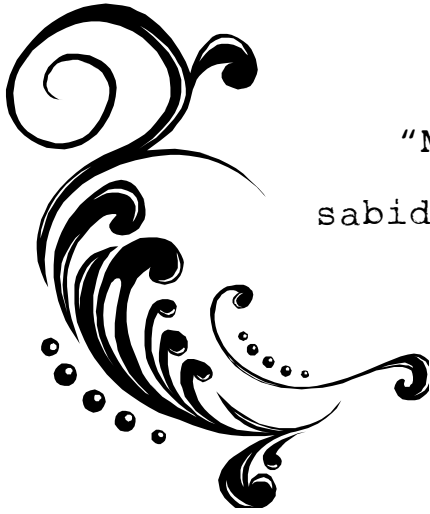
Prof. Juan Diego Ortiz Palma Pérez

**SUPERVISOR TÉCNICO:**

Prof. Agustín Reyo Herrera

**SUSTENTANTE:**

Teresa Melisa Rodríguez Zamora



"Más veces descubrimos nuestra  
sabiduría con nuestros disparates que  
con nuestra ilustración".

Oscar Wilde (1854-1900)  
Dramaturgo y novelista irlandés.



## **D E D I C A T O R I A S**

### **A mi madre Alicia,**

*Por haberme enseñado que la perseverancia rinde los frutos que esperamos. Tu amor incondicional no sólo me permitió afrontar los momentos más difíciles sino también me hizo más fuerte.*

*Lo mejor de mí, lo aprendí de ti.*

### **A mi padre Javier,**

*Por haberme dado todas las herramientas y los medios necesarios para llegar hasta donde estoy. Gracias por apoyarme en todo momento pero sobre todo por quererme tanto, mis logros son todos tuyos.*

### **A mi hermano Carlos,**

*Por tu ejemplo, tus consejos y la serenidad que me inspiras. Gracias también por el apoyo, la confianza y en especial tu amistad.*

### **A mi hermana Olivia,**

*Gracias por escucharme en todo momento, tus palabras siempre supieron darme una mejor perspectiva de las cosas. ¡Muchas gracias chaparrita!*

### **A mi novio Daniel,**

*Tu apoyo y amor me guiaron hasta el final. Eres mi inspiración para seguir adelante y mi fuerza para querer aún más. Te amo con todo mi corazón.*

### **A mis maestros,**

*Gracias por el apoyo, sabiduría y consejos en mi formación profesional. Especialmente a: Juan Diego Ortiz Palma, Federico Galdeano y Fanny Iturbe, por su tiempo y dedicación para la culminación de este trabajo. Al profesor Agustín Reyó por su tiempo y apoyo en el desarrollo experimental, muchísimas gracias.*

### **A mis amigas QA's,**

*Porque sin ellas el camino hubiera sido más difícil. Gracias al gran equipo que fuimos, llegamos hasta el final. ¡Las adoro!*

*A la **Universidad Nacional Autónoma de México**, y sobre todo a la **Facultad de Química** por darme la oportunidad de pertenecer a ellas y seguir apoyando en la formación de profesionales.*



# ÍNDICE

<b>1.- INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>2.- OBJETIVOS.....</b>	<b>3</b>
2.1.- Objetivo general.....	3
2.2.- Objetivos particulares.....	3
<b>3.- HIPÓTESIS.....</b>	<b>4</b>
<b>4.- ANTECEDENTES.....</b>	<b>5</b>
4.1.- Generalidades de los aceites vegetales.....	5
4.2.- Principales componentes de los aceites.....	5
4.2.1.- Ácidos grasos.....	7
4.3.- Métodos de extracción de aceites vegetales.....	9
4.3.1 <i>Extracción de aceite por presión.....</i>	<i>9</i>
4.3.2 <i>Extracción de aceite por disolventes.....</i>	<i>10</i>
4.4.- El Aguacate.....	12
4.4.1.- <i>Historia del Aguacate en México.....</i>	<i>13</i>
4.4.2.- <i>Árbol y fruto.....</i>	<i>14</i>
4.4.3.- <i>Recolección, procesamiento y transporte.....</i>	<i>16</i>
4.4.4.- <i>Composición de la pulpa de aguacate.....</i>	<i>21</i>
4.4.5.- <i>Propiedades nutrimentales. Beneficios a la salud.....</i>	<i>22</i>
4.4.6.- <i>Cultivo y Producción del aguacate tipo Hass en México.....</i>	<i>23</i>
4.4.7.- <i>México como exportador de aguacate.....</i>	<i>27</i>
4.5.- Aceite de aguacate.....	28
4.5.1.- <i>Características, Propiedades y Usos.....</i>	<i>28</i>
4.6.- Normatividad del aguacate.....	29
4.6.1 <i>Normatividad Mexicana.....</i>	<i>29</i>
4.6.2 <i>Otros organismos normativos.....</i>	<i>33</i>
<b>5.- DISEÑO EXPERIMENTAL.....</b>	<b>34</b>
5.1.- Selección de materia prima.....	35
5.2.- Determinación de humedad.....	36
5.3.- Curva de secado.....	36
5.4.- Obtención de los aceites.....	36
5.4.1.- <i>Extracción por disolvente (hexano) en frío.....</i>	<i>37</i>
5.4.2.- <i>Destilación de hexano.....</i>	<i>37</i>
5.5.- Determinación de lípidos.....	37
5.6.- Caracterización del aceite virgen extraído.....	38
5.6.1.- <i>Densidad relativa.....</i>	<i>38</i>

5.6.3.- Índice de yodo.....	38
5.6.4.- Punto de Humo.....	39
5.6.5.- Índice de saponificación.....	39
5.6.6.- Materia Insaponificable.....	39
5.6.7.- Perfil de ácidos grasos por cromatografía de gases.....	39
5.7.- Determinación de degradación del aceite virgen extraído.....	40
5.7.1.- Valor de peróxidos.....	40
5.7.2.- Índice de Kreis.....	41
5.7.3.- Acidez titulable.....	41
<b>6.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>42</b>
6.1.- Materia prima.....	42
6.2.- Determinación de humedad y curva de secado.....	42
6.2.1.- Humedad total de los frutos.....	42
6.2.2.- Curva de secado del aguacate en estado óptimo de maduración.....	43
6.2.3.- Curva de secado del aguacate sobre-madurado.....	45
6.3 Extracción de los aceites.....	46
6.3.1.- Comparativo de porcentaje de extracción por lotes con Soxhlet.....	47
6.3.2.- Optimización del método de extracción.....	48
6.4 Determinaciones fisico-químicas de los aceites.....	49
6.5.- Análisis de composición de ácidos grasos por cromatografía de gases.....	52
6.6.- Degradación y rancidez de los aceites.....	58
<b>7.- ANÁLISIS DE MERCADO.....</b>	<b>60</b>
7.1 Mercado de aceite de aguacate comestible en México.....	60
7.2 Mercado de productos que emplean el aceite de aguacate como ingrediente en México.....	62
<b>8.- CONCLUSIONES.....</b>	<b>72</b>
<b>9.- RECOMENDACIONES.....</b>	<b>74</b>
<b>10.-BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>75</b>
<b>APÉNDICE A.....</b>	<b>78</b>

## 1.- INTRODUCCIÓN

El aguacate es un fruto que tiene una alta producción y es comercializado tanto interna como externamente en México, de hecho, somos el primer productor a nivel mundial de aguacate variedad Hass (Persea americana Miller). En nuestro país son cinco los principales productores: Michoacán, México, Morelos, Nayarit y Puebla. La primera entidad contribuye con el 86% de la producción total nacional<sup>23</sup>.

A pesar de ser un alimento con alto valor nutritivo y contener ácidos grasos benéficos para la salud (oleico, linoléico y linolénico), es poco empleado como fuente de aceite, sin embargo en los últimos años el interés por éste se ha ido incrementando gradualmente y se espera que pueda distribuirse y comercializarse más ampliamente en nuestro país para su fácil acceso.

Además de lo anterior, el aceite de aguacate no sólo puede ser empleado como complemento en la alimentación, sino también ocupa un lugar muy importante en el área farmacéutica y cosmética gracias a su contenido de vitaminas, por lo que su uso se extiende a cremas corporales, faciales y desodorantes, entre otros.

Existen diversas metodologías para la extracción de aceites vegetales, entre las que destacan: presión en frío como en el caso de aceite de oliva y la extracción por disolventes, la cual es la más difundida y reporta mayor cantidad de aceite, menor contenido de impurezas y menor energía empleada. El hexano es el disolvente más utilizado para dicha tarea, ya que su polaridad permite la mayor afinidad por la fracción oleosa, además es un compuesto orgánico muy volátil por lo que al ser destilado, queda un residuo mínimo o nulo<sup>8</sup>.

El aceite obtenido de la pulpa de aguacate no es un aceite convencional ya que debido al alto precio de materia prima y proceso, existe poca disponibilidad en el mercado y está dirigido para nichos más específicos de cocina para gourmets.



Al tratarse de uno de los pocos frutos que se producen todo el año, su aprovechamiento no siempre es el más adecuado y, dependiendo de la oferta y demanda del mismo, existen temporadas del año (octubre-febrero<sup>23</sup>) en las que puede haber sobreproducción, lo que tiene como consecuencia el desperdicio masivo del mismo. Por estos motivos es importante considerar alternativas de aprovechamiento que permitan no sólo la obtención de aceite de buena calidad sino también permitir la disminución de precio de adquisición en el mercado.

## 2.- OBJETIVOS

### 2.1.- OBJETIVO GENERAL

- Obtener y analizar los aceites de pulpa de aguacate tipo Hass (*Persea americana Miller*) de dos etapas de maduración (Clase I y II) para valorar la importancia de sus propiedades y realizar un comparativo de la calidad de ambos con el fin de plantear una alternativa de aprovechamiento del fruto sobre-madurado.

### 2.2.- OBJETIVOS PARTICULARES

- Investigar y analizar las características y propiedades que distinguen al aguacate como un fruto de alto valor nutritivo.
- Realizar un estudio de mercado que permita conocer el impacto del aceite de aguacate como ingrediente y como producto terminado, evaluando sus usos y ventajas en dichos productos.
- Caracterizar dichos aceites empleando metodología oficial y evaluar su calidad.
- Evaluar la factibilidad de aprovechamiento del aguacate sobre-madurado (Clase II) como fuente alterna de obtención de un aceite de buena calidad.
- Efectuar la caracterización de los aceites mediante pruebas fisicoquímicas: densidad relativa, índice de refracción, índice de saponificación, material insaponificable y punto de humo.
- Determinar la degradación de ambos aceites mediante: acidez titulable, índice de Kreis e índice de peróxidos.
- Realizar el perfil de ácidos grasos de los aceites y evaluar las semejanzas o diferencias entre ambos y con un aceite de oliva comercial mediante método analítico de cromatografía de gases.

### **3.- HIPÓTESIS**

La calidad de los aceites obtenidos de las dos diferentes fuentes de aguacate (Clase I y II) no tendrán diferencias significativas entre sí, siendo el aguacate sobre-madurado (Clase II) una alternativa viable de materia prima para la obtención de aceite de aguacate. La cantidad obtenida de ambos aceites será de entre 15 y 20% (BH), siendo éstos de buena calidad, con un valor bajo de degradación oxidativa y con composición similar al aceite de oliva tanto en parámetros fisicoquímicos como en el perfil de ácidos grasos.

El análisis de mercado permitirá demostrar la proyección de uso del aceite de aguacate como fuente rica en nutrimentos tanto para el sector alimenticio como para el cosmético.

## 4.- ANTECEDENTES

### 4.1.- GENERALIDADES DE LOS ACEITES VEGETALES

Los aceites son una fuente rica de energía en la dieta. Contienen ciertos ácidos grasos que son nutrientes esenciales y sus características funcionales y de textura contribuyen al sabor y palatabilidad de los diversos alimentos naturales y preparados<sup>7</sup>.

El aceite vegetal es un compuesto orgánico obtenido a partir de semillas u otras partes de las plantas (como mesocarpio) en cuyos tejidos se acumula como fuente de energía. No todos los aceites de esta procedencia son aptos para consumo humano (como el de algodón), sin embargo existen muchas otras fuentes que entran dentro del grado alimenticio, en Estados Unidos, los más importantes debido a su nivel de consumo son los de soya, coco, canola y maíz<sup>8</sup>.

### 4.2.- PRINCIPALES COMPONENTES DE LOS ACEITES

Los aceites son una mezcla de triacilglicéridos (triglicéridos) con cantidades menores de otros lípidos. Los ácidos grasos presentes en varias moléculas de lípidos constituyen la parte con mayor interés nutritivo.

Existen otros compuestos que conforman a los aceites como son:

- Acilglicéridos. El tipo de ácido graso y la posición en la cual se esterifica a glicerol determinan las características de los acilglicéridos. Además de los glicéridos que presentan tres ácidos grasos esterificados, los diacilglicéridos (diglicéridos) y los monoacilglicéridos (monoglicéridos) también están presentes en los alimentos crudos o en los ingredientes de los alimentos.
- Fosfolípidos.- Son componentes de la membrana que están presentes en los alimentos y aceites obtenidos por extracción. Además de los fosfoglicéridos, los fosfolípidos incluyen esfingomielinas y cerebrósidos, que se basan en la esfingosina en lugar del glicerol. Aunque los fosfolípidos constituyen sólo una

pequeña fracción de la grasa total de la dieta, pueden constituir una fuente importante de ácidos grasos esenciales.

- Componentes no glicéridos.- Son componentes menores en lo que se refiere a su concentración con respecto a los triacilglicéridos. La nueva información sobre estos constituyentes de las grasas procede de las mejoras en la capacidad de analizarlos y de los estudios de sus propiedades.

- Vitamina E.- Consiste en una mezcla de fenoles liposolubles caracterizados por una cabeza aromática de cromanol y una cadena lateral de 16 átomos de carbono. Los tocoferoles tienen una cola de hidrocarburo saturada, mientras que los tocotrienoles son sus análogos farnesilados y presentan una cola isoprenoide insaturada. El número y posición que los grupos metilo ocupan en el anillo de cromanol da lugar a los diferentes  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  y  $\delta$ -tocoferol y a los isómeros del tocotrienol.

Los aceites vegetales y los productos elaborados con ellos contienen normalmente grandes cantidades de tocoferol, especialmente los isómeros  $\alpha$ ,  $\beta$ , y  $\gamma$ . Además, algunos aceites vegetales, especialmente el aceite de palma<sup>13</sup> y el aceite de salvado de arroz<sup>14</sup> son fuentes muy ricas de tocotrienoles con una débil actividad como vitamina E, pero que actúan como antioxidantes y proporcionan estabilidad contra la oxidación.

- Carotenoides.- Los carotenoides son hidrocarburos liposolubles altamente insaturados derivados del poliisopreno. Se sabe que en las grasas animales y vegetales están presentes más de 75 carotenoides diferentes. Los más frecuentes son los carotenos  $\alpha$ ,  $\beta$  y  $\gamma$ , la licopina, la luteína y las xantofilas. Los carotenoides y sus derivados son normalmente los que dan el color amarillo a rojo intenso a las frutas, hortalizas, cereales y aceite de palma bruto. Los carotenoides son los precursores de la vitamina A, presentando el  $\beta$ -caroteno la mayor actividad de provitamina A.

- Vitaminas A y D.- Una fuente tradicional de vitamina A es la grasa de la mantequilla. Los aceites de pescado constituyen la fuente normal de vitamina D.
- Esteroles.- El colesterol es el principal esteroide de los productos animales. Los principales esteroides de las plantas son el  $\beta$ -sitosterol, el campesterol y el estigmasterol. Se encuentran en forma libre o bien esterificados con otros compuestos como los ácidos grasos, los glucósidos o el ácido ferúlico (oxizanol). El contenido de esteroide de las grasas y aceites alimentarios oscila entre el 0.01 y el 2.0 por ciento.
- Orizanoles.- Los orizanoles son compuestos que constan de ácido ferúlico esterificado con varios esteroides vegetales y con alcoholes triterpénicos.
- Alcoholes derivados del metilesterol y del triterpeno.- Los esteroides metilados en la posición OH-4 están presentes en los aceites vegetales comunes en concentraciones del 0.01 al 0.4 por ciento. Las correspondientes concentraciones de alcoholes triterpénicos, incluidos los de cinco anillos de ciclohexano condensados, son del 0.01 al 1.2 por ciento<sup>5</sup>.
- Escualeno.- El hidrocarburo predominante en las grasas alimentarias es el escualeno. Es un intermediario en la síntesis del esteroide a partir del acetato, y se encuentra en cantidades particularmente elevadas en algunos aceites de pescado y en el aceite de oliva.

En la mayoría de los aceites vegetales, la concentración se encuentra por debajo de 30 mg/100 g<sup>4</sup>.

#### 4.2.1.- ÁCIDOS GRASOS

Existen en la naturaleza al menos 50 ácidos grasos, los más abundantes presentan cadenas lineales con un número par de átomos de carbono. Existe un amplio espectro de longitudes de cadena, que varían entre un ácido graso de la leche con cuatro átomos de carbono, y los ácidos grasos de algunos aceites de pescado con 30 átomos de carbono. Son frecuentes los ácidos grasos con 18 átomos de carbono.

Los dobles enlaces situados en la cadena de carbonos o los sustituyentes de la misma se designan químicamente asignando al carbono del grupo carboxilo la posición 1. Así, los dobles enlaces del ácido linoléico le proporcionan el nombre químico sistemático de ácido 9,12-octadecadienoico. Una abreviatura para designar el ácido linoléico sería 18:2 (18 átomos de carbono: dos dobles enlaces). Su último doble enlace se encuentra a seis átomos de carbono del metilo terminal, una característica importante para algunas enzimas. Este ácido se considera un ácido graso n-6 ó  $\omega$ -6.

No todos los ácidos grasos se encuentran de manera común en los alimentos, o más aún en cantidades significativas, sin embargo todos ellos son de gran importancia ya que juegan funciones importantes en nuestro metabolismo por ello es importante conocer cuáles de ellos son los de mayor importancia en los alimentos que ingerimos en los alimentos; en la Tabla 1 se muestra cuáles son los que destacan, así como su nombre común, si se trata de un ácido graso saturado o insaturado y si pertenece a la familia de ácidos grasos conocidos como  $\omega$ -3,  $\omega$ -6 y  $\omega$ -9.

Tabla 1. Nomenclatura de algunos ácidos grasos de importancia en alimentos.<sup>3</sup>

Nombre común	Nombre sistemático	Abreviatura	Familia de ácido graso
<b>cáprico</b>	decanoico	10:0	-
<b>láurico</b>	dodecanoico	12:0	-
<b>mirístico</b>	tetradecanoico	14:0	-
<b>palmítico</b>	hexadecanoico	16:0	-
<b>esteárico</b>	octadecanoico	18:0	-
<b>araquídico</b>	eicosanoico	20:0	-
<b>behénico</b>	docosanoico	22:0	-
<b>lignocérico</b>	tetracosanoico	24:0	-
<b>palmitoleico</b>	9-hexadecenoico	16:1	n-7

<b>oleico</b>	9-octadecenoico	18:1	n-9
<b>gadoleico</b>	11-eicosaenoico	20:1	n-9
<b>cetoleico</b>	11-docasaenoico	22:1	n-11
<b>erúxico</b>	13-docasaenoico	22:1	n-9
<b>nervónico</b>	15-tetracosaenoico	24:1	n-9
<b>linoleico</b>	9,12-octadecadienoico	18:2	n-6
<b><math>\alpha</math>-linoléxico</b>	9,12,15-octadecatrienoico	18:3	n-3
<b><math>\gamma</math>-linoléxico</b>	6,9,12-octadecatrienoico	18:3	n-6
<b>araquidónico</b>	5,8,11,14-eicosatetraenoico	20:4	n-6

#### 4.3.- MÉTODOS DE EXTRACCIÓN DE ACEITES VEGETALES <sup>1</sup>

Existen dos principales formas de extracción del aceite de semillas oleaginosas:

- I. Por fuerza mecánica (presión, centrífuga)
- II. Por método orgánico (disolventes)

##### 4.3.1 Extracción de aceite por presión

Este proceso se realiza hoy en día casi exclusivamente mediante prensas continuas llamadas *expellers*. La semilla entra en la banda sin fin hasta las espiras helicoidales, va avanzando mientras el espacio se ve cada vez más reducido aumentando la presión sobre ésta. El equipo está adecuado de tal manera que permite la salida del aceite por canales.

La tecnología de estos equipos reside en el progreso y modificación de aspectos como:

- Alimentación de la prensa
- Presión ejercida (más de 1600 kg/cm<sup>2</sup>)
- Tiempo de presión

Industrialmente, estas máquinas son empleadas para dos fines distintos:

- A. Extraer la máxima cantidad posible de aceite de una semilla que no va a ser sometida a ningún otro proceso (utilización de mayor energía).



- B. Extraer una cierta cantidad de aceite de la semilla para posteriormente ser tratada con otro proceso de recuperación del aceite residual (menor energía requerida).

Las prensas continuas del tipo A requieren de mayor energía para el proceso y la temperatura durante la extracción puede aumentar superando los 160°C, lo cual es un efecto negativo en la calidad del aceite obtenido. Algunas veces para evitar esto, se realizan dos extracciones, donde en la primera presión se obtenga del 75 al 80% del aceite y en la segunda se obtenga el restante.

Otra manera de combinar proceso de extracción es realizar primero una extracción por presión moderada para posteriormente obtener el resto del aceite por extracción con disolventes orgánicos, de esta manera se asegura la mayor calidad del aceite y el mejor rendimiento de obtención del mismo.

#### *4.3.2 Extracción de aceite por disolventes*

La extracción por disolventes orgánicos es uno de los mejores métodos para la obtención de aceites vegetales. El fundamento radica en la afinidad de los disolventes por la fracción no polar que compone al aceite, lo que permite su total solvatación y facilitando la obtención del aceite eliminando el disolvente con una destilación simple y además permitiendo la recuperación de éste para volver a ser empleado en el proceso.

Para obtener la mayor cantidad de aceite posible, deben de tomarse en cuenta diversos factores que afectan a la extracción, como son:

- a) Tiempo de extracción.- Tiene una gran importancia ya que es determinante sobre la cantidad de aceite extraído.
- b) Cantidad de disolvente.- La cantidad de disolvente empleado varía en peso-volumen dependiendo de la materia prima de la que se va a extraer.
- c) Temperatura del disolvente.- El incremento en la temperatura del disolvente durante la extracción puede favorecer a la misma, sin embargo debe de controlarse puesto que si se excede la aplicación de calor, puede tener efectos desfavorables.

d) Tipo de disolvente.- La adecuación del tipo de disolvente que se empleará para la extracción es muy importante ya que deberán poseer las siguientes características:

- Tener alta afinidad por la fracción oleosa de la materia prima.
- No ser tóxicos ya que el aceite extraído es para consumo.
- Fácil adquisición
- Tener puntos de ebullición bajos.
- No deben producir productos indeseables durante el proceso de extracción.

Los disolventes que anteriormente se empleaban más comúnmente, son el hexano y el benceno, sin embargo actualmente depende de lo que se desee extraer, es el disolvente a emplear <sup>6</sup>:

- Éter de Petróleo (Bencina, nafta) PE. 35-80°C, disuelve únicamente grasas, aceites y ceras. Los ácidos grasos hidroxilados y sus glicéridos son prácticamente insolubles. Solubiliza menos glicéridos de grasas que de aceites. Extrae impurezas no polares (clorofila y compuestos resinosos). Extremadamente inflamable. Es una mezcla de hidrocarburos, principalmente C5 - C7, con 45 a 90% de C6.
- Éter Etílico (Éter dietílico, éter sulfúrico, éter anestésico). PE 35°C. Solvente para la mayoría de los lípidos. Mayor solubilidad de esfingomielinas, cerebrósidos y lecitina. Se satura con 1.2% de agua a 20°C. Disuelve más impurezas como aminoácidos, carbohidratos, sales, ácidos orgánicos, cetonas, aldehídos y alcoholes. Muy volátil y altamente inflamable. Tiende a formar peróxidos explosivos.
- Disulfuro de carbono. PE. 46°C. Es un solvente más poderoso, solubiliza todos los lípidos. Altamente inflamable. Extremadamente tóxico. Se descompone con facilidad. Menos utilizado.
- Ciclohexano. PE 78-81°C. Disuelve lípidos con ácidos grasos de cadena larga. Usado para extraer aceites esenciales. Solvente de resinas y lacas. Líquido inflamable.

- Benceno. PE. 79.6°C. Disuelve bien aceites, grasas, ceras, esteroides y fosfolípidos. También disuelve impurezas (compuestos orgánicos, colorantes y resinas). Es muy tóxico, su uso está siendo limitado. Altamente inflamable.
- Cloruro de metileno (Diclorometano, dicloruro de metileno). PE. 40-41°C. Extrae la mayoría de los lípidos. Se usa como desengrasante. No es inflamable ni explosivo. Aparentemente es menos tóxico que el cloroformo.
- Tricloroetileno. PE 83-87°C. Usado en la industria para extraer grasas, aceites y ceras. Extrae resinas, plásticos, pinturas, barniz. Es un anestésico potente. Poca toxicidad.
- Cloroformo. PE 61°C. Extrae más lípidos que el éter etílico. Extrae más impurezas que el éter etílico. Se descompone formando HCl en presencia de agua. Sensible a la luz. Recientemente se demostró que es muy tóxico. Esta siendo substituido, principalmente por diclorometano.
- Acetona. PE 56.1°C. Miscible en agua. Solubiliza muchas impurezas hidrosolubles. Muy volátil. Altamente inflamable. Se usa para extracciones iniciales.
- Otros. Alcohol etílico. CO<sub>2</sub> fluido supercrítico. Mezclas de solventes y alcoholes.

#### 4.4.- EL AGUACATE

Debido a la composición de ácidos grasos, el aguacate es una fuente importante de ácidos grasos que son denominados esenciales, debido a que no pueden ser sintetizados por el organismo y además aportan beneficios a la salud. Por este motivo se resalta la trascendencia del aprovechamiento de su aceite tanto para uso alimentario, como para uso farmacéutico o cosmético. Su obtención a nivel industrial ha tenido un auge favorable durante los últimos años y como menciona Piñón, R. en su trabajo de estudio económico preliminar de una planta industrial de aceite de aguacate<sup>12</sup>, “la explotación del aguacate para obtener su aceite representa una alternativa viable para el crecimiento de los grupos agropecuarios ya que plantea

una nueva opción de venta a dicho fruto como producto agropecuario muy importante en nuestro país”.

#### 4.4.1.- HISTORIA DEL AGUACATE EN MÉXICO<sup>22</sup>

Nuestro país es el principal productor de este fruto a nivel mundial y es necesario revisar un poco de historia para entender cómo es que este fruto se ha aprovechado a través de los siglos por nuestra cultura.

México es el centro de origen del aguacate (*Persea americana Miller*). La evidencia más antigua del consumo de esta fruta data de 10,000 años A.C. y fue encontrada en una cueva localizada en Coxcatlán, Puebla. El origen del aguacate tuvo lugar en las partes altas del centro y este de México, y partes altas de Guatemala. Esta misma región está incluida en lo que se conoce como Mesoamérica, y también es considerada como el área donde se llevó a cabo su cultivo. Por otra parte, en el Códice Mendocino existen jeroglíficos donde se indica el poblado de Ahuacatlán como el lugar “donde abunda el aguacate” palabra en náhuatl compuesta en sus raíces por un árbol con dentadura en el tallo, ahucacahuitl y “calli” que significa poblado o lugar. En el caso de la matrícula de tributo que se daba al imperio Azteca y que se utilizaba para identificar la mercancía del poblado de Ahuacatlán era el “ahucacahuitl” solo. Mientras que en el código Florentino se mencionan tres tipos de aguacate: aoacaquauitl, tlacacolaoacatl y quilaocatl, los cuales, es posible que correspondan a las tres variedades que son conocidas ahora. En la época colonial los españoles introdujeron el aguacate a otros países americanos y a Europa. A finales del siglo XIX y principios del XX el consumo de aguacate estuvo basado en la producción de plantas de las variedades mexicanas y antillana. Posteriormente con la adopción de técnicas de propagación como el injerto y con el descubrimiento del aguacate “Fuerte” comenzó el establecimiento de las primeras huertas.

En las décadas de los 50, 60 y 70's del siglo XX comienza el cultivo de las variedades Hass, Fuerte, Bacon, Rincón, Zutano y criollos raza mexicana. En 1963 se establecen los primeros viveros comerciales de la variedad Hass con una producción potencial

entre 18 y 20 mil plantas utilizando yemas certificadas procedentes de Santa Paula California, EE.UU. El establecimiento de los huertos comerciales de esta variedad se extiende y sustituye en el mercado nacional al “fuerte” y otras variedades.

#### 4.4.2.- ÁRBOL Y FRUTO

El árbol del aguacate es frondoso y de hoja perenne, tiene una floración muy generosa cuajando en fruto en un porcentaje muy alto.



Figura 1. Árbol de aguacate

Sus flores perfectas en racimos, sin embargo, cada flor abre en dos momentos distintos y separados, es decir los órganos femeninos y masculinos son funcionales en diferentes tiempos, lo que evita la autofecundación. Las flores abren primero como femeninas, cierran por un período fijo y luego abren como masculinas en su segunda apertura; cada árbol puede llegar a producir hasta un millón de flores y sólo el 0.1 % se transforman en fruto. El fruto que es una baya de una semilla, oval, de superficie lisa o rugosa, tiene un rango de peso bastante amplio que en las variedades comerciales oscila entre los 120 g y los 2.5 kg, es de color verdoso y piel fina o gruesa; cuando está maduro, la pulpa tiene una consistencia como de mantequilla dura y su sabor recuerda levemente al de la nuez, es muy rico en proteínas y en grasas, con un contenido en aceite del 10 al 20%.<sup>23</sup>

El árbol de donde se obtiene el fruto, se denomina comúnmente “aguacatero” y alcanza unos 20 m. de altura, aunque, cuando se cultiva, no se deja crecer más de 5 m. Sus flores son de color verde muy pequeñas y su tronco rugoso de color pardo. Lo que más destaca son sus frutos, en forma de pera de color verde oliva y superficie rugosa con una pulpa verde amarillenta y un hueso central muy grande (dependiendo de la variedad). Existen aproximadamente unas 400 variedades, por lo que podemos encontrar frutos de formas y pesos diferentes, que pueden llegar a un máximo de 2kg<sup>26</sup>.

Las hojas son alternas, pedunculadas, y muy brillantes. Asimismo, sus flores se encuentran distribuidas en racimos subterminales.

El aguacate puede cultivarse desde los 0 hasta los 2,500 m sobre el nivel del mar; sin embargo, su cultivo se recomienda en altitudes entre 800 y 2,500 m, para evitar problemas con enfermedades, principalmente de las raíces.

La temperatura y la lluvia son los dos factores de mayor incidencia en el desarrollo del cultivo. Sequías prolongadas provocan la caída de las hojas, lo que reduce el rendimiento; el exceso de precipitación durante la floración y la fructificación, reduce la producción y provoca la caída del fruto.

El terreno destinado al cultivo debe contar con buena protección natural contra el viento o en su ausencia, establecer una barrera cortavientos preferentemente un año antes del establecimiento de la plantación.

El exceso de humedad relativa puede ocasionar el desarrollo de algas o líquenes sobre el tallo, ramas y hojas o enfermedades fúngicas que afectan el follaje, la floración, la polinización y el desarrollo de los frutos. Un ambiente muy seco provoca la muerte del polen con efectos negativos sobre la fecundación y con ello la formación de menor número de frutos.

Los suelos más recomendados son los de textura ligera, profundos, bien drenados con un pH neutro o ligeramente ácidos (5.5 a 7)<sup>27</sup>.

#### 4.4.3.- RECOLECCIÓN, PROCESAMIENTO Y TRANSPORTE.<sup>27</sup>

##### a) Recolección

Normalmente, la primera cosecha a nivel comercial ocurre a los cinco años en árboles injertados y la cantidad de frutos producidos depende de la variedad y la atención que haya recibido la planta en su desarrollo. A los cinco años, generalmente se cosechan cincuenta frutos; a los seis años, ciento cincuenta frutos; a los siete años, trescientos frutos y ochocientos a los ocho años. Algunas variedades como Hass, Fuerte y otras de fruto pequeño, pueden producir entre 1,000 y 1,500 frutos a los diez años.

Las variedades de “bajura” empiezan a producir entre abril y agosto, las de alturas medias entre junio y septiembre y las de altura entre septiembre y abril.

El grado óptimo de madurez del fruto para realizar la recolección es difícil de determinar por la diversidad de variedades y ambientes, por las variaciones en la duración de período de floración a cosecha y por las diferencias en el contenido de aceites que se van acumulando durante la maduración del fruto.

El criterio de madurez que ha prevalecido ha sido el basado en el contenido de grasa en el fruto.

La recolección se hace a mano utilizando escalera, se corte el pedúnculo por encima de la inserción con el fruto.

Dado que el fruto del aguacate tiene una actividad respiratoria muy intensa después de recolectado, su almacenamiento por períodos largos se hace difícil, ya que esta característica conlleva una intensa actividad microbiana y una fuerte disminución del contenido de agua en el fruto. La magnitud de la respiración del fruto depende de las variedades, grado de madurez y de las condiciones ambientales de la zona y del almacenamiento. Por esta razón, la conservación de los frutos de aguacate destinados a la exportación se realiza en cámaras o almacenes con atmósfera controlada.

## b) Procesamiento

El procesamiento de la fruta necesaria para su envasado, conservación, y el transporte se realiza de la siguiente manera:

El fruto es recibido, pesado, y descargado de los camiones. Se coloca en cajas de diferentes colores para identificar su destino final, el cual puede ser ya sea para el mercado interno o bien para exportación (Figura 2).

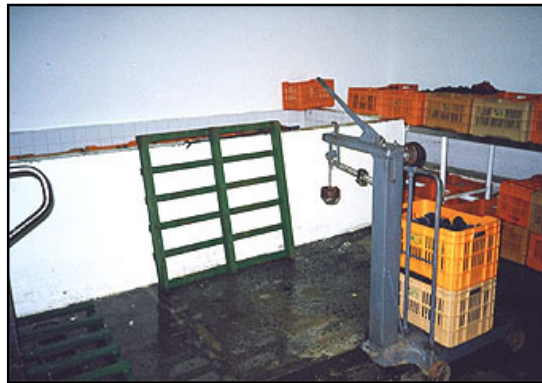


Figura 2. Peso de los aguacates en una casa de embalaje.

Las cajas son colocadas en una banda de transporte y lleva la fruta a una máquina de clasificación. Esta máquina separa a los aguacates pequeños. Luego el fruto se limpia con cepillos rotativos, y pasa a una banda de la selección, la cual se realiza de forma manual o con la ayuda de máquinas, teniendo en cuenta la forma, tamaño, características sanitarias de la fruta, así como todos los defectos causados por insectos, roedores, mecánica, mal manejo y la enfermedad (virus, bacterias y hongos). Los criterios de selección también dependerán del destino final de la fruta. En el caso de la “Global Fruit Packinghouse” en Uruapan, Michoacán, el fruto es seleccionado por peso, que se programa en una máquina de acuerdo con el mercado de destino. El peso de clasificación permite tener un conjunto uniforme y buena presentación para el mercado. El calibre es el número de frutas que pueden ser envasados en una sola caja.



Una vez que el tamaño del fruto es seleccionado, y se han descartado piezas defectuosas, se empacan. El material de embalaje varía de acuerdo al mercado, al ser de cartón, plástico o madera.

Las cajas son estibadas y atadas juntas (Figura 3) y deben cumplir con las medidas establecidas por los contenedores. El número de cajas por estiba, varía según el lugar de empacado, pero generalmente es de 200 cajas de 4 kg cada una.

Posteriormente, pasan de inmediato a cámaras refrigeradas, donde se someten a un proceso de pre-enfriamiento. Después, entran en la cámara de conservación a una temperatura entre los 3 y 7°C, donde permanecen hasta el cargado en la unidad de transporte.



Figura 3. Unidades de embalaje.

El aguacate tiene una menor probabilidad de ser contaminado por agentes patógenos que otros frutos que crecen en arbustos, ya que éste crece suspendido sobre las ramas y no tiene contacto el agua de riego. El aguacate también está protegido por una gruesa cáscara, sin embargo, las operaciones de embalaje presentan un peligro de contaminación. El agua (si se utiliza en el proceso) debe ser desinfectada y libre de insectos y plagas controladas, las personas que trabajan con el producto deben ser debidamente capacitados<sup>15</sup>.

El objetivo de los envases es conservar la fruta en buenas condiciones. El contenedor protege el producto a través de todas las etapas del proceso de distribución, como el transporte, carga, descarga, estiba y almacenamiento.

Se ha determinado que un conjunto bien diseñado ayuda a reducir los daños en los productos alimentarios, sobre todo en perecederos, como frutas y verduras.

Teniendo en cuenta que los envases pueden restringir la difusión de gas, uno podría concluir que las pérdidas post-cosecha podrían aumentar. De esta manera, se considera que el 25 y el 30% de los alimentos producidos en todo el mundo se pierden debido a la deficiencia de embalaje.

El uso de material de embalaje implica un incremento en el costo final del producto, sin embargo, la mayoría de las veces mejora la apariencia y la preservación de la calidad de la fruta.

### c) Transporte

El transporte de la fruta de los huertos a empacadoras se hace por camiones que transportan una tonelada aproximadamente. Una vez que los aguacates son envasados, se distribuyen en camiones con una capacidad de 10 toneladas. Los camiones deben encontrarse equipados adecuadamente, con contenedores refrigerados para asegurar su óptimo estado cuando lleguen a su destino de mercado. El transporte a este mercado representa el 30% del costo final de aguacate. El umbral de daños al fruto, aparece entre la tercera y cuarta semanas del período de refrigeración. Al llegar al puerto de destino, los aguacates deben enviarse inmediatamente a los canales de distribución, con el fin de acortar el tiempo de refrigeración<sup>19</sup>.

Por supuesto, el fruto debe ser empacado, etiquetado y estibado de manera apropiada para su transportación y poder ser comercializado en las mejores condiciones posibles. Así pues, se debe tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- Marcado o etiquetado

Cada envase debe llevar en el exterior de uno de los extremos, la impresión o etiqueta permanente, con caracteres legibles e indelebles redactados en español (sin perjuicio de que además se expresen en otro idioma) conteniendo como mínimo los siguientes datos:

- ◆ Nombre y dirección del productor y/o empacador;
- ◆ La leyenda "Producido en México" o país de origen;
- ◆ Nombre genérico del producto; aguacate;
- ◆ Grado de calidad y calibre contenida en el envase, y
- ◆ Fecha de empaque.

- Envase

Cada envase debe reunir las siguientes características:

- ◆ Los materiales usados para el envase del aguacate, deben ser limpios y libres de cualquier material extraño.
- ◆ El envase debe satisfacer las características de resistencia y ventilación adecuada a la fruta.
- ◆ Los envases pueden ser de cartón, madera, madera-cartón u otros materiales convenientes, de las dimensiones que se adapten a las necesidades de mercadeo y transportación nacional o internacional, según el caso.
- ◆ Se permite en el envase, el uso de tintas, materiales de papel o etiquetas impresas y que las tintas y pegamentos no presenten ninguna toxicidad.
- ◆ El contenido de cada envase debe ser homogéneo y contener únicamente aguacates del mismo origen, variedad, fecha de empaque, calidad y calibre.

- Embalaje

El material del embalaje debe ser resistente, de tal manera que garantice el buen manejo y conservación del producto. El acomodo del aguacate dentro de los envases en el embalaje, debe realizarse cuidadosamente para evitar ser dañado.

## 4.4.4.- COMPOSICIÓN DE LA PULPA DE AGUACATE

La pulpa de aguacate de variedad Hass es rica en nutrientes, es fuente importante de lípidos, fibra y contiene cantidades considerables de minerales y vitaminas que convierten a este fruto en un alimento muy completo. En la tabla 2 pueden apreciarse sus principales componentes:

Tabla 2. Composición química de la pulpa de aguacate Hass<sup>20</sup>.

<b>Componente</b>	<b>Contenido por c/100g</b>
Agua	74, 27 g
Energía	161 Kcal
Grasa	15, 32 g
Proteína	1, 98 g
Hidratos de carbono	7, 39 g
Fibra	5 g
Potasio	600 mg
Sodio	10 mg
Fósforo	41 mg
Calcio	11 mg
Magnesio	39 mg
Cobre	0, 26 mg
Hierro	0, 40 mg
Zinc	1 mg
Vitamina C	7, 9 mg
Vitamina B1	0, 108 mg
Vitamina B2	0, 122 mg
Vitamina B6	0, 280 mg
Vitamina A	61 IU
Vitamina E	1,340 mg
Niacina	1, 921 mg

Por supuesto que no todos los frutos de aguacate son iguales entre sí, pueden variar de cierta manera en su contenido nutrimental, sin embargo, esta variación no siempre es significativa; por ejemplo, en el trabajo de tesis realizado por Buenrostro, M. (Tabla 3), se reporta el análisis proximal de aguacate Hass de la siguiente manera:

Tabla 3. Análisis proximal (base seca)<sup>2</sup>

Determinación	Cantidad en %
<b>Cenizas</b>	4.20
<b>Proteína</b>	8.10
<b>Grasa</b>	70.06
<b>Fibra cruda</b>	7.17
<b>Carbohidratos</b>	7.47

Haciendo un comparativo directo en base seca de los valores reportados en las tablas anteriores, se observa aquellos reportados por el autor, no se encuentran muy alejados de lo que nos reporta el departamento de agricultura (AMS, USA).

#### 4.4.5.- PROPIEDADES NUTRIMENTALES. BENEFICIOS A LA SALUD.<sup>22</sup>

La característica alimentaria principal de este fruto es su riqueza en grasas que llegan en algunas especies al 30 %, pero que normalmente se encuentran entre un 10 o 15 %.

La ventaja de estas grasas es que están formadas por ácidos grasos insaturados (ácidos linolénico y linoléico fundamentalmente) y monoinsaturados (oléico) por lo que, al igual que ocurre con el aceite de oliva, el ajo o la manzana, nos pueden ayudar a contrarrestar los efectos perniciosos de las grasas saturadas contenidas en los aceites animales. Resulta muy adecuado para evitar la formación de colesterol, reduciendo el riesgo de sufrir alguna enfermedad vascular, como infartos o hemorragias cerebrales. Igualmente interesante en este sentido resulta su alto contenido en lecitina, necesaria en el metabolismo de las grasas y muy útil en la lucha contra el colesterol y en la prevención de la arteriosclerosis.

Hay que destacar la importancia de este tipo de grasas en la prevención o tratamiento de enfermedades como el Alzheimer, la depresión o la esclerosis múltiple.

El aguacate es muy rico en vitamina D, necesaria para regular la absorción de calcio y fósforo en el cuerpo e impedir la fragilidad de los huesos y de los dientes. Comer este fruto puede resultar muy útil durante el crecimiento para conseguir unos huesos sanos y una talla correcta, evitando el raquitismo. Resulta de gran ayuda durante la gestación y, especialmente, a partir de una edad avanzada, para evitar la aparición de la osteoporosis. Asimismo, posee un alto contenido en Vitamina E, un potente antioxidante y muy necesaria para el buen funcionamiento del corazón. Es muy rico en potasio, por lo que equilibra la ingestión de otros productos ricos en sodio y contribuye a un buen estado del sistema nervioso. Presenta también cantidades considerables de magnesio, calcio y hierro.

Utilizado externamente, como sería el caso de cremas corporales y faciales, su riqueza en vitaminas D y E estimula la formación de colágeno así como en saponinas, constituye un buen bálsamo para la piel, ideal para tratar los problemas de dermatitis a los que se puede combatir aplicando una crema realizada con la pulpa de esta fruta o mediante la aplicación externa de su aceite.

#### 4.4.6.- CULTIVO Y PRODUCCIÓN DEL AGUACATE TIPO HASS (*PERSEA AMERICANA MILLER*) EN MÉXICO.

El aguacate ha incrementado su consumo a nivel mundial, especialmente en países como Estados Unidos, Francia, Alemania, España y otros, lo que ha traído como consecuencia un gran aumento en las superficies plantadas, en todos los países que lo producen como son: México, Chile, España, Sudáfrica, Nueva Zelanda, Australia, Perú, Israel y EE.UU., entre otros. Lo anterior ha provocado un incremento progresivo en los volúmenes de fruta de calibres menores, que normalmente se comercializa en los mercados domésticos con precios menores. Esta tendencia se incrementará en el futuro, por lo que la industrialización se torna como una alternativa cada vez más importante para comercializar estos volúmenes<sup>11</sup>.

México es el principal productor, exportador y consumidor de aguacates en el mundo. Para el año 1994, la producción anual aproximada de aguacate era de 800,000 toneladas<sup>12</sup>, actualmente la producción anual alcanzó 1, 142,892 de toneladas en el 2007 (Tabla 4).

Tabla 4. Avance de siembra y cosechas, producción y valor de producción total anual. Situación al 31 de diciembre del 2007.<sup>17</sup>

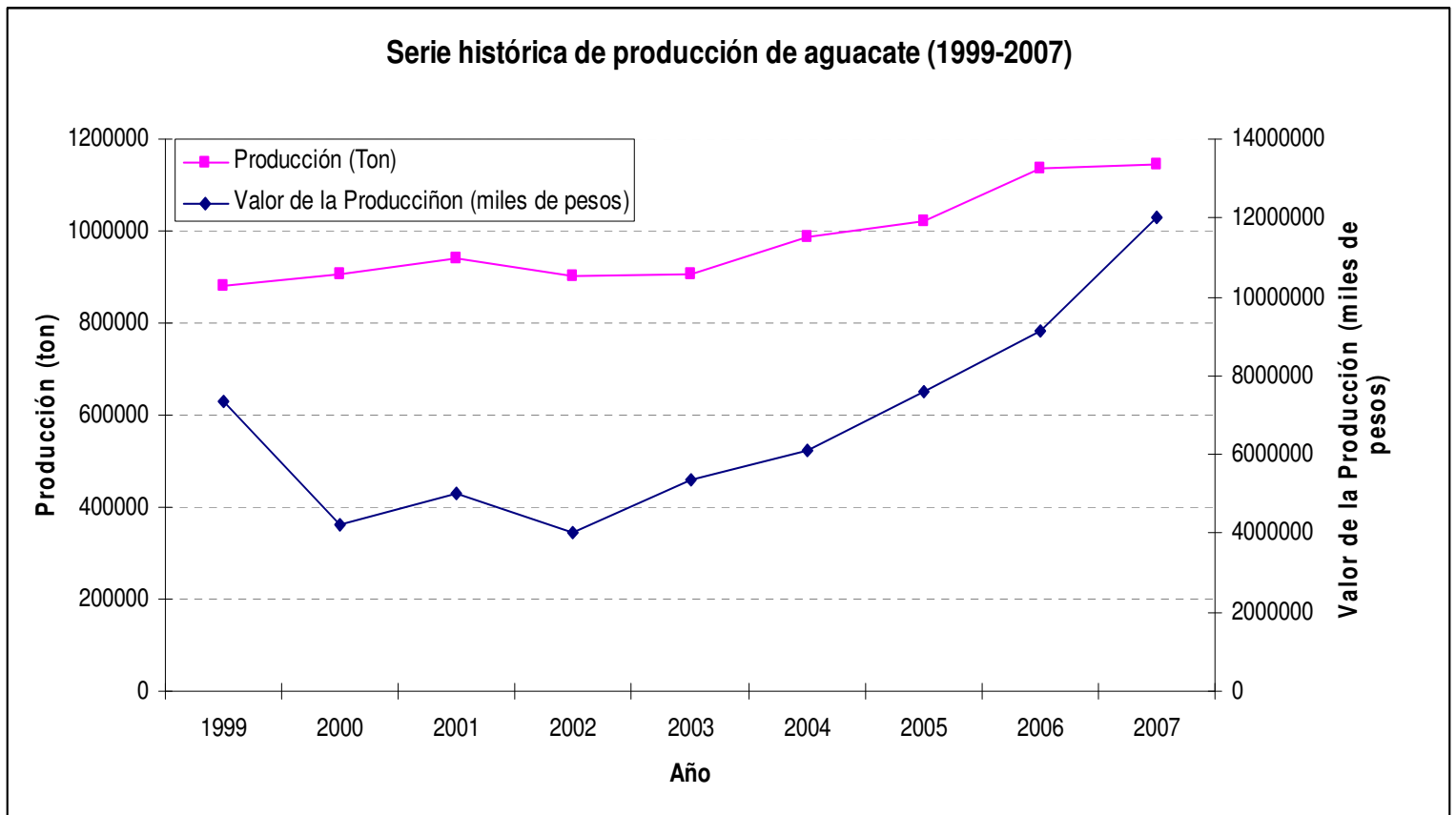
**PRODUCCION AGRICOLA**

Ciclo: Ciclicos y Perennes 2007  
 Modalidad: Riego + Temporal  
 AGUACATE

Ubicación	Sup. Sembrada (Ha)	Sup. Cosechada (Ha)	Producción (Ton)	Rendimiento (Ton/Ha)	PMR (\$/Ton)	Valor Producción (Miles de Pesos)
AGUASCALIENTES	6.00	6.00	96.00	16.00	6,500.00	624.00
BAJA CALIFORNIA	48.00	34.00	71.06	2.09	9,462.92	672.44
BAJA CALIFORNIA SUR	102.50	95.00	591.75	6.16	8,547.19	5,057.80
CAMPECHE	55.75	55.75	432.50	7.76	2,142.20	926.50
CHIAPAS	526.00	291.00	1,682.40	5.78	3,431.79	5,773.64
COLIMA	95.50	95.50	961.00	10.06	6,324.91	6,078.24
DURANGO	942.50	942.50	3,185.93	3.38	9,833.70	31,329.48
GUANAJUATO	213.60	206.60	2,140.90	10.36	3,459.22	7,405.85
GUERRERO	1,809.00	1,710.00	12,670.90	7.41	8,231.61	104,301.90
HIDALGO	431.00	376.00	2,249.30	5.98	5,192.41	11,679.29
JALISCO	2,167.58	1,025.76	10,207.73	9.95	9,933.92	101,402.75
MEXICO	1,946.50	1,786.50	18,084.50	10.12	9,152.01	165,509.61
MICHOACAN	98,462.74	93,574.62	1,006,059.00	10.75	10,959.36	11,025,767.14
MORELOS	2,514.30	2,514.30	25,389.60	10.10	10,921.10	277,282.40
NAYARIT	2,688.55	2,680.80	22,710.54	8.47	3,720.23	84,488.42
NUEVO LEON	751.75	751.75	3,846.60	5.12	8,253.06	31,746.22
OAXACA	816.50	577.25	2,774.62	4.81	6,011.37	16,679.25
PUEBLA	2,483.44	2,467.94	13,291.09	5.38	5,955.53	79,155.54
QUERETARO	95.00	95.00	349.85	3.68	6,487.78	2,269.75
QUINTANA ROO	16.50	16.50	247.50	15.00	1,220.00	301.95
SAN LUIS POTOSI	13.00	13.00	50.00	3.85	6,400.00	320.00
SINALOA	22.00	22.00	242.00	11.00	5,945.45	1,438.80
SONORA	23.00	23.00	276.00	12.00	3,000.00	828.00
TABASCO	108.00	108.00	530.00	4.91	3,736.79	1,980.50
TAMAULIPAS	45.75	45.75	386.25	8.44	2,302.59	889.38
VERACRUZ	271.00	271.00	3,238.00	11.95	7,973.75	25,819.00
YUCATAN	563.30	533.80	10,725.60	20.09	2,590.83	27,788.25
ZACATECAS	93.00	57.00	401.80	7.05	4,634.64	1,862.20
	117,311.76	110,377.32	1,142,892.42	10.35	10,516.63	12,019,378.28

La producción de aguacate nacional ha ido en incremento de manera significativa desde hace algunos años. En 1999 se tiene el registro histórico de una producción de casi 880,000 toneladas con un valor de producción total de casi 7,365,000 miles de pesos y para el 2007, la producción se incrementó un 39 por ciento con un valor de producción de 12,019,000 miles de pesos (Figura 2).

Figura 4. Serie histórica de 1999 hasta 2007<sup>18</sup>.



En México, los precios del mercado mayorista fluctúan dependiendo de la temporada y de la demanda comercial existente. Además de lo anterior, los precios promedio tanto al producto, al mayoreo y al consumidor, han ido en crecimiento continuo desde hace algunos años (Tabla 5).



Tabla 5. Márgenes de comercialización del Aguacate Hass en México<sup>17</sup>.

Periodo	Precio promedio anual de productor (\$/Kg)	Precio promedio anual al mayoreo (\$/Kg)	Precio promedio anual al consumidor (\$/Kg)	Participación del productor en el precio final (%)
Mar-Dic 2001	7.26	9.61	17.42	42
Ene-Dic 2002	4.29	7.90	14.00	31
Ene-Dic 2003	7.31	10.57	17.46	42
Ene-Dic 2004	7.83	10.44	17.83	44
Ene-Dic 2005	10.37	14.33	22.27	47
Ene-Dic 2006	9.82	14.10	23.70	41
Ene-Dic 2007	12.06	17.62	27.54	44
Ene-Jun 2008	14.79	21.59	32.16	46

Hoy en día, el precio comercial del aguacate continúa a la alza y se pronostica que este valor continúe hasta mediados del presente año. En la Tabla 6, se presentan los precios mayoristas recientes que se manejan en las centrales de abasto del país.

Tabla 6. Precios mayoristas recientes de Aguacate Hass en centrales de abasto de México.

Precios de Aguacate (MEX \$/KG.)	Semana comienza en:					Los últimos cinco días				
	Ene 2009	Feb 2009	28 Feb 2009	7 Mar 2009	14 Mar 2009	23 Mar 2009	24 Mar 2009	25 Mar 2009	26 Mar 2009	27 Mar 2009
Hass Prom. 3 Mdos.	16.00	15.67	16.35	16.41	17.26	18.11	18.78	18.78	18.44	19.11
Hass Mdo-D.F. Orig.-Todos	15.87	15.70	16.50	16.00	17.29	18.33	18.33	18.33	18.33	18.33
Hass Mdo-GUA. Orig.-Todos	15.29	15.56	15.56	15.24	16.75	19.00	19.00	19.00	19.00	19.00
Hass Mdo-MTY. Orig.-Todos	16.83	15.74	17.00	18.00	17.75	17.00	19.00	19.00	18.00	20.00
Hass Orig-Michoacán	16.00	15.67	16.35	16.41	17.26	18.11	18.78	18.78	18.44	19.11
Hass Mdo-D.F. Orig. Michoacán	15.87	15.70	16.50	16.00	17.29	18.33	18.33	18.33	18.33	18.33
Hass Mdo-GUA. Orig. Michoacán	15.29	15.56	15.56	15.24	16.75	19.00	19.00	19.00	19.00	19.00
Hass Mdo-MTY. Orig. Michoacán	16.83	15.74	17.00	18.00	17.75	17.00	19.00	19.00	18.00	20.00

#### 4.4.7.- MÉXICO COMO EXPORTADOR DE AGUACATE

Para el período 2004-2006, señaló el presidente entrante de la Asociación de Productores, Empacadores y Exportadores de Aguacate de Michoacán (APEAM), Jorge Fernández Barragán que la producción nacional fue de aproximadamente un millón de toneladas, de las cuales se exportan poco más de 200 mil toneladas permitiendo así, divisas por 400 millones de dólares anuales. Las exportaciones mexicanas de este fruto representan alrededor del 23 por ciento del mercado internacional. El valor de la comercialización en exportaciones equivale a 988 485,414 millones de pesos.

Así pues, se ha logrado aumentar hasta en 11 veces el volumen de exportación desde hace 6 años: mientras en el 2001 se enviaron 10 mil 221 toneladas de aguacate, en el 2005 se colocaron 112 mil 576 toneladas y en el 2006 se superaron las 200 mil toneladas<sup>27</sup>.

De acuerdo a un boletín publicado por la SAGARPA<sup>28</sup>, el mes de febrero del 2007, México logró derribar por completo, el muro fitosanitario que impuso el gobierno de los Estados Unidos, desde 1912, a las exportaciones de aguacate procedentes de nuestro país; por ello, a partir de ese año, los productores nacionales invadieron al territorio norteamericano con los aguacates de la más alta calidad y sanidad que se producen en el mundo.

Con esta total apertura de mercado, se mantiene activa la producción masiva de este fruto procedente de 12 municipios del estado de Michoacán, principal productor a nivel nacional con una producción muy importante que mantiene el trabajo sustentable de más de 22 mil productores de este estado.

A nivel nacional se generan 47 000 empleos directos, 70 000 empleos estacionales y cerca de 187,000 empleos indirectos. Son 16 los estados productores, destacando, como ya mencionamos Michoacán principalmente, Nayarit, Estado de México y Puebla<sup>10</sup>.



Figura 5.- Producción de aguacate variedad Hass en el estado de Michoacán.

#### 4.5.- ACEITE DE AGUACATE

El aceite de aguacate, es un excelente complemento en la dieta debido a su composición de ácidos grasos, favoreciendo así la disminución de niveles de colesterol en la sangre. Se caracteriza por contener una baja proporción de ácidos grasos saturados, una elevada proporción de ácidos grasos insaturados, de alrededor del 70-80 por ciento de ácido oléico, así como un nivel aceptable de ácidos grasos poliinsaturados entre 10 y 15 por ciento (linoléico, linolénico principalmente).

##### 4.5.1.- CARACTERÍSTICAS, PROPIEDADES Y USOS

El aceite de aguacate virgen contiene, en su mayoría, ácidos grasos que promueven la salud, como son el oléico (en su mayoría) y otros poliinsaturados como son el linoléico y linolénico.

Se ha demostrado que las dietas enriquecidas con aceite de aguacate son muy efectivas para la reducción de colesterol total, colesterol LDL (lipoproteína de baja densidad) y triglicéridos de la sangre, tanto en individuos hipercolesterolémicos como con diabetes mellitus tipo 2, lo cual refleja una disminución de los riesgos cardiovasculares. Existen pruebas que demuestran que el consumo de aceite de aguacate también eleva el porcentaje de colesterol HDL (lipoproteína de alta densidad), además posee un grado de aterogenicidad menor, comparado con otros aceites vegetales como el de maíz o el de soya; estos factores influyen de manera considerable al mejoramiento de la salud dentro de una dieta nutritiva<sup>25</sup>.

El aceite de aguacate provee además de otros beneficios, los cuales son muy deseables para otro tipo de industrias además de la alimenticia, como son la farmacéutica y cosmética<sup>12</sup>:

- Favorece la absorción de calcio
- Funciona como vehículo para importantes vitaminas liposolubles como la A, D, K, y E.
- Es de fácil absorción por la epidermis por lo que se emplea como vehículo para sustancias medicinales que por sí mismas no se absorben fácilmente.

- Tiene una acción regenerativa en la piel, debido a su composición química en la fracción de materia insaponificable.
- Es capaz de absorber una porción de la luz ultravioleta.
- Tiene una gran capacidad de absorber perfumes, lo cual lo hace muy deseable en la fabricación de cosméticos funcionando como fijador.
- Es un buen saponificador y crea espuma fina, ideal para la fabricación de jabones.

#### 4.6.- NORMATIVIDAD DEL AGUACATE

##### 4.6.1 Normatividad Mexicana

La norma Mexicana que describe la calidad del aguacate es la siguiente:

Nombre completo: NMX-FF-016-SCFI-2006. PRODUCTOS ALIMENTICIOS NO INDUSTRIALIZADOS PARA USO HUMANO – FRUTA FRESCA – AGUACATE (*Persea americana* Miller).

Esta norma describe a este fruto de la siguiente manera:

“El aguacate (*Persea americana* Miller) perteneciente a la familia de las Lauráceas, es un fruto de forma ovoide o aperada de color que va desde el verde mate a negro, de pulpa verde-amarillento, suave y de textura no fibrosa”.

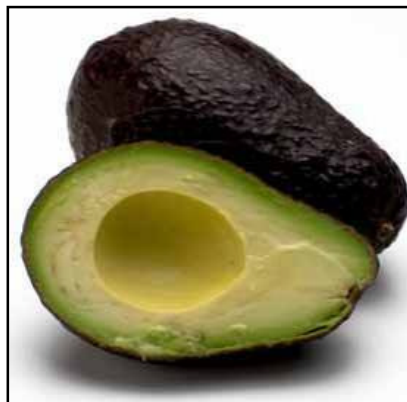


Figura 6. Fruto de aguacate.

Los aguacates se designan de acuerdo a su tamaño como se muestra en la tabla 7 a continuación:

Tabla 7. Especificaciones de calibre<sup>10</sup>

Designación de calibre	Peso unitario en gramos
<b>Súper</b>	Mayor de 265
<b>Extra</b>	211 – 265
<b>Clase I</b>	171 – 210
<b>Mediano</b>	136 – 170
<b>Comercial</b>	85 – 135
<b>Canica</b>	Menor de 85

Asimismo, describe que el aguacate Hass se clasifica en tres grados de calidad: Suprema, Clase I y Clase II. La Clase III se utiliza para designar a los productos fuera de clasificación.

- Suprema:

Los aguacates de este grado deben ser de la mejor apariencia en cuanto a la forma, el desarrollo y coloración típicos de la variedad. Deben ser uniformes en cuanto al grado de madurez, coloración y tamaño.

No deben tener defectos, salvo defectos superficiales muy leves en no más de 2 cm<sup>2</sup> en total, causados por roña, granizo y rozaduras, siempre y cuando no afecten el aspecto general del producto, su calidad, y su conservación.

No se permiten defectos conocidos como “varicela”, “viruela” y/o “clavo”, quemaduras causadas por el sol o por heladas. Deben estar libres de daños mecánicos y sin daños causados por larvas.

- Clase I:

Los aguacates de este grado deben presentar un buen aspecto general del producto, relativo a la forma, el desarrollo y coloración típicos de la variedad.

Deben ser uniformes en cuanto al grado de madurez, coloración y tamaño. Con leves defectos tales como raspaduras, rozaduras, costras, manchas o quemaduras de sol, siempre y cuando no afecten el aspecto y la conservación del fruto.

Pueden presentar defectos superficiales leves en no más de 6 cm<sup>2</sup> causados por roña, varicela seca, granizo y rozaduras. Pueden permitirse hasta 5 pústulas de viruela seca por fruto.

No se permiten defectos conocidos como “clavo”, quemaduras causadas por el sol o por heladas, además de estar libre de daños mecánicos y daños causados por larvas. En ningún caso los defectos citados deben afectar a la pulpa de la fruta.

- Clase II:

Los aguacates de este grado deben presentar la forma, el desarrollo y coloración típicos de la variedad. Deben ser uniformes en cuanto al grado de madurez, coloración y tamaño.

Podrán permitirse daños superficiales que afecten un máximo del 50% de la superficie del fruto causados por roña, varicela seca, granizo y rozaduras, siempre y cuando los aguacates conserven sus características esenciales de calidad, estado de conservación y su presentación. Deben estar libres de daños mecánicos que afecten severamente la pulpa del fruto. Pueden permitirse los siguientes defectos:

1. Hasta 3 pústulas de “clavo” de un tamaño máximo de 1,0 cm de diámetro cada una.
2. Un máximo de 10 pústulas de viruela seca.
3. Quemaduras de sol en no más de 30 % de la superficie del fruto, siempre y cuando sea solo de color amarillo.

- Clase III (Descalificado):

Todo aguacate que no clasifica como Clase II, ya que por sus características físicas no es apto para consumo humano en fresco, aunque sí para uso industrial.

Asimismo, esta misma norma describe que para comercialización y proceso del fruto en derivados como es el caso su aceite, se deben cumplir las siguientes características independientemente de la clasificación en la que se encuentren:

Los frutos deben:

- ◆ Estar enteros.
- ◆ Estar visiblemente sanos; exentos de podredumbre o deterioro, aptos para el consumo.
- ◆ Estar limpios; prácticamente exentos de cualquier material extraño visible.
- ◆ Estar libres de insectos y daños causados por plagas.
- ◆ Estar exentos de cualquier olor y/o sabor extraño.

La fruta debe haber alcanzado su grado de madurez fisiológica, equivalente a un contenido mínimo de materia seca del fruto del 21.5 por ciento. La recolección de la fruta debe ser manual cortada con tijera y el auxilio de un gancho con red, depositada en caja limpia de plástico para ser transportada. La fruta no debe tener contacto con el suelo, por lo que el tijeateado debe realizarse en el árbol, dejando el pedúnculo a ras de la cáscara. No debe cosecharse cuando esté lloviendo o cuando la fruta se encuentre muy húmeda. El transporte de la fruta de la huerta al empaque, debe realizarse en vehículos cubiertos con lona, de acuerdo a lo establecido en la Norma Oficial Mexicana NOM-066-FITO.

Cuando un aguacate se corte antes de su grado de madurez fisiológica o ha sido dañado por bajas temperaturas atmosféricas (heladas) no puede ser comercializado para consumo humano.

#### 4.6.2 Otros organismos normativos

A continuación se desglosan las normas vigentes de diferentes organismos para la evaluación y control de calidad del aguacate:

- Normas Oficiales Mexicanas-NOM relacionadas con el Aguacate:
  - ◆ NOM-066-FIT0-2002 Especificaciones para el manejo fitosanitario y movilización del aguacate.
  - ◆ NOM-128-SCFI-1998 Norma de Etiquetado
  - ◆ CODEX STAN 197 para aguacate<sup>24</sup>:

Establece las especificaciones internacionales para el aguacate, las clasificaciones del mismo en Categorías I y II y III, las disposiciones relativas a calibre, tolerancias y las disposiciones relativas a su presentación.

Del mismo modo, señala las tolerancias entre grados de calidad así como los lineamientos para el manejo del producto, su envase y empaque.
  
- Normas de calidad en otros países:
  - ◆ United States Standards for Grades of Florida Avocados<sup>20</sup>

Establece las especificaciones para los aguacates en grados de calidad USDA1, 2, 3 y no clasificados, así como tolerancias y empaque.
  
  - ◆ UNECE STANDARD FFV 42 Norma europea para aguacate<sup>30</sup>

Establece las disposiciones relativas a calidad y calibre del aguacate que se comercializa entre los países miembros.



## 5.- DISEÑO EXPERIMENTAL

El diseño experimental que se muestra a continuación en la figura 7, se empleó para ambas fuentes de aguacate. Las condiciones de secado y tiempos dependieron de la curva de secado ya que con ésta se obtuvieron los tiempos óptimos de proceso para cada fuente. Una vez obtenidos los aceites se llevaron a cabo las pruebas fisicoquímicas en un tiempo de 3-4 semanas. Las condiciones de almacenamiento de los aceites durante este período, fueron de refrigeración a 5 °C para reducir en mayor medida el riesgo de enranciamiento y oxidación de los productos extraídos.

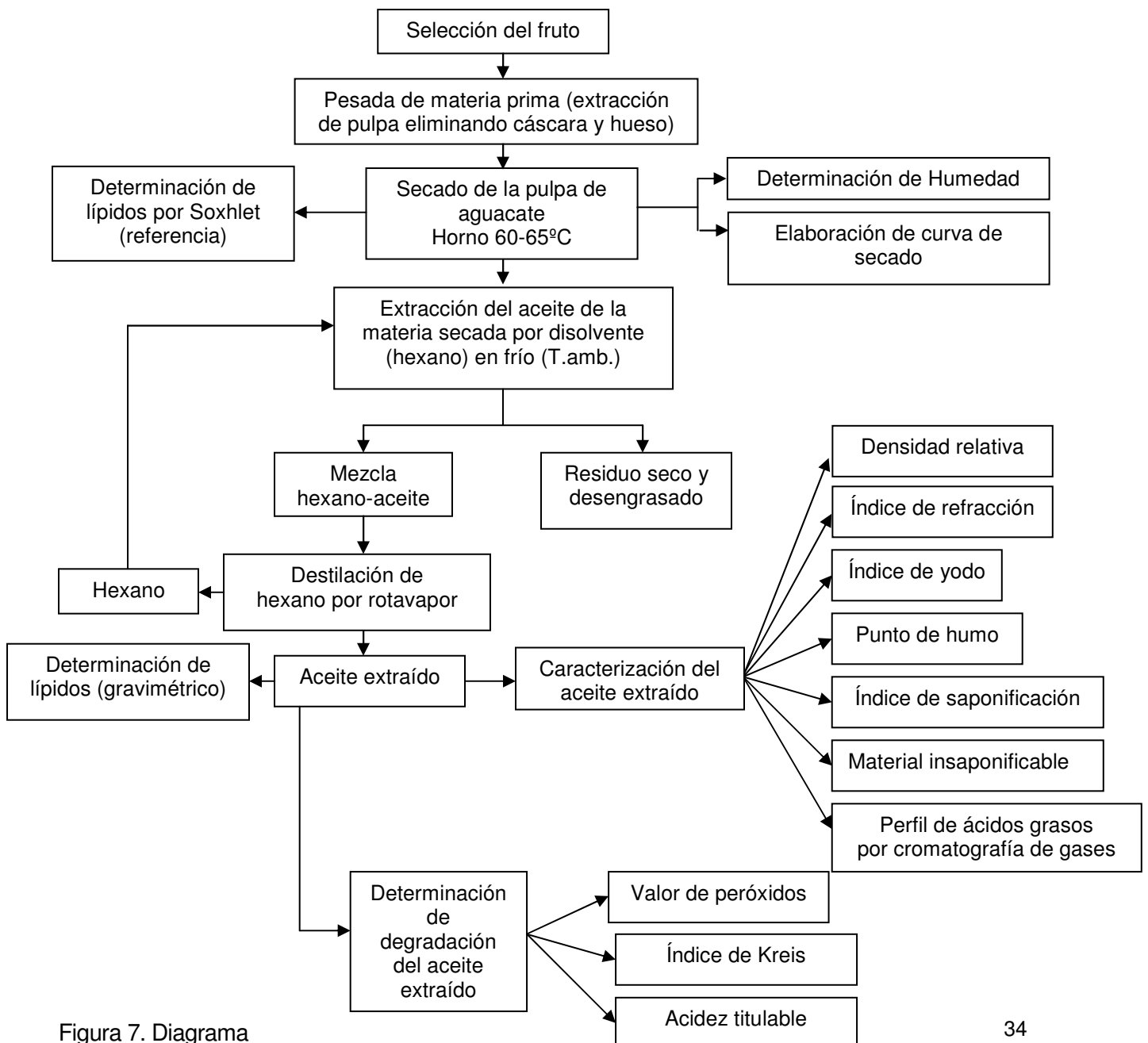


Figura 7. Diagrama Experimental General

### 5.1.- SELECCIÓN DE MATERIA PRIMA (Basado en la NMX-FF-016-SCFI-2006).

Se evaluó la calidad de los aceites obtenidos de dos fuentes diferentes de aguacates de la variedad Hass (Clase I y II). De acuerdo a las especificaciones del vendedor, el aguacate (tanto madurado como sobre-madurado) se obtuvo directamente de la central de abastos, la cual recibe el producto cada dos o tres días (dependiendo de la temporada) desde la localidad de Palo Alto que se encuentra situada en el Municipio de Cojumatlán de Régules en el Estado de Michoacán, México. La selección del aguacate en estado óptimo de maduración (Clase I) se basó en sus características organolépticas:

#### *Externas*

- Tamaño y peso.- Homogéneo de entre 150-200 g cada pieza.
- Cáscara.- Color negro, sin maltratar, sin perforaciones y sin contaminación microbiológica.

#### *Internas*

- Semilla/hueso.- Tamaño promedio, característico.
- Pulpa.- Buena textura (suave, característica del fruto maduro), color verde intenso, sin pardeamiento, sin contaminación microbiológica evidente.

La selección del aguacate sobre-madurado (Clase II) se basó de igual manera en las siguientes características organolépticas:

#### *Externas*

- Tamaño y peso.- Homogéneo de entre 100-150 g cada pieza (el peso es menor en este caso debido a la pérdida de humedad debida al deterioro del fruto por exceso de maduración).
- Cáscara.- Color negro, pudiendo tener golpes y mayor rugosidad en su superficie.

#### *Internas*

- Semilla/hueso.- Tamaño promedio, característico.
- Pulpa.- Textura más suave que el caso anterior, pudiendo tener pardeamiento, sin contaminación microbiológica evidente.

## 5.2.- DETERMINACIÓN DE HUMEDAD (Basado en 22.013 AOAC, 1984)

Se basa en la pérdida de agua de la pulpa macerada debido al sometimiento a calor constante de entre 60-65°C. Este método (22.013 AOAC, 1984) es el recomendado para la determinación de humedad en frutas por diferencia de pesos de materia original con respecto a la materia secada (hasta alcanzar un peso constante). Se emplea una estufa de secado con aire, debido a que el contenido de ácidos grasos poliinsaturados del aguacate es bajo y se intuye mínima degradación del aceite a extraer. La proporción de agua perdida aumenta al elevar la temperatura; por lo tanto, debe monitorearse que la temperatura aplicada sea constante durante la medición para evitar variabilidad debido a este factor. La cantidad de agua perdida también depende del tamaño de partícula por lo que debe de ser lo más homogéneo posible en todas las determinaciones.

## 5.3.- CURVA DE SECADO

Debido a que la cantidad de humedad y aceite son diferentes en las dos fuentes de aguacate, se construyó una curva de secado específica para cada tipo, a partir del monitoreo periódico de la pérdida de peso por evaporación del agua contenida en el aguacate (T=60-65°C). El monitoreo se llevó a cabo durante cada hora durante 7 horas o hasta llegar a un porcentaje de humedad de entre 8 y 10 % (porcentaje adecuado para la extracción por disolventes).

Una vez obtenida la curva, se establecieron los tiempos adecuados de secado por horno para cada aguacate y se procedió a la extracción de sus aceites.

## 5.4.- OBTENCIÓN DE LOS ACEITES

Para ambos tipos de aguacate, se realizó el mismo procedimiento de extracción y destilación con el propósito de obtener resultados comparables entre sí.

#### 5.4.1- EXTRACCIÓN POR DISOLVENTE (HEXANO) EN FRÍO

Esta metodología se caracteriza por la obtención de buen rendimiento, empleo de nulo de calor o fuerza mecánica, permitiendo la recuperación y reutilización del solvente utilizado. Se basa en la polaridad del disolvente (no polar) para disolver la fracción grasa de la materia prima y obtener el aceite posteriormente con una destilación al vacío para asegurar la menor degradación del aceite abatiendo el punto de ebullición del hexano.

#### 5.4.2.- DESTILACIÓN DE HEXANO

Sabiendo que el punto de ebullición del hexano es de 69°C, la mezcla aceite-disolvente se somete a una destilación a vacío en rotavapor, así, la temperatura del proceso se abate, lo que permite que al evaporar a baja temperatura, se evite la descomposición del aceite y de las vitaminas liposolubles, así como su oxidación por tratarse de un proceso al vacío.

#### 5.5.- DETERMINACIÓN DE LÍPIDOS

Para la determinación de lípidos, se pesó la cantidad de aceite obtenido y se reportó como mL de aceite / g de aguacate seco y mL de aceite / g de aguacate húmedo.

Asimismo, con el propósito de comparar la cantidad de aceite obtenido con la cantidad de grasa total de las materias primas, se realizó la determinación de lípidos de los aguacates empleados por método de Soxhlet, procedimiento oficial marcado por la AOAC 31.4.02 (2000).

El contenido de lípidos libres, que básicamente consiste en grasas neutras (triglicéridos) y ácidos grasos libres, se determina sin mayor problema en los alimentos por extracción del material seco y molido con una fracción de disolvente en un aparato de extracción continua. El método de Soxhlet proporciona una extracción intermitente con un exceso de disolvente recién condensado, su eficiencia depende del tratamiento previo de la muestra y de la elección del disolvente, que en este caso es éter etílico.

## 5.6.- CARACTERIZACIÓN DEL ACEITE VIRGEN EXTRAÍDO

Para conocer las características más comunes del aceite obtenido, se realizaron las siguientes pruebas de análisis fisicoquímicos:

### 5.6.1.- DENSIDAD RELATIVA (Basado en AOCS Method Cc 10a-25)

La densidad relativa expresa la relación entre la densidad de una sustancia y la densidad del agua, resultando una magnitud adimensional. La densidad del agua tiene un valor de  $1 \text{ g/cm}^3$  (a las condiciones de 1 atm y  $4 \text{ }^\circ\text{C}$ ).

### 5.6.2.- ÍNDICE DE REFRACCIÓN (Basado en AOCS Method Cc 7-25)

El índice de refracción en un medio específico es la relación entre el seno del ángulo de incidencia sobre el seno del ángulo de refracción. Depende directamente de la densidad del aceite e indirectamente de la temperatura. En aceites y grasas es la relación entre el aire y la muestra y se realiza a  $25 \text{ }^\circ\text{C}$  para aceites y a  $40 \text{ }^\circ\text{C}$  para grasas. Cuando se usa el refractómetro de Abbe, se requiere luz difusiva o luz de sodio y la temperatura se mantiene constante haciendo circular agua a la temperatura deseada por la chaqueta que protege los prismas.

### 5.6.3.- ÍNDICE DE YODO (Basado en AOCS Method Cd 1d-92)

El valor de yodo de un aceite se define como el peso de yodo que absorben 100 partes de la muestra en peso. Los glicéridos de los ácidos grasos no saturados presentes (en particular de la serie de oléico) se unen con una cantidad definida de halógeno y por lo tanto, el valor de yodo es una medida del grado de insaturación. Es una constante para cada aceite o grasa, pero la cifra exacta que se obtenga depende de la técnica que se utilice.

#### 5.6.4.- PUNTO DE HUMO (Basado en AOCS Method Cc 9E-47)

El punto de humo es la medida de estabilidad térmica de un aceite cuando se calienta con exposición al oxígeno. En otras palabras, es la temperatura a la cual los productos de degradación de los aceites se hacen visibles. Entre más baja es esta temperatura, menos resistente es el aceite al calentamiento y es más probable que se desarrollen productos primarios y secundarios dañinos a la salud en grandes cantidades.

#### 5.6.5.- ÍNDICE DE SAPONIFICACIÓN (Basado en AOCS Methods Ca 6a-40)

El valor de saponificación de un aceite se define como el número de miligramos de hidróxido de potasio que se requieren para neutralizar los ácidos grasos resultantes de la hidrólisis alcalina completa de 1 g de la muestra. Se forma un jabón durante el proceso de saponificación. El valor de saponificación ayuda a detectar la presencia de ácidos grasos menores.

#### 5.6.6.- MATERIA INSAPONIFICABLE (Basado en AOCS Method Ca 6a-40)

Se define como la materia presente en los aceites que tras la saponificación con el álcali y la extracción con un disolvente orgánico adecuado, sigue siendo no volátil durante el secado a 80 °C. La materia no saponificable incluye hidrocarburos, alcoholes superiores, vitaminas solubles en aceites y esteroides (colesterol, fitoesteroides). Se reporta en g de materia insaponificable/Kg o en porcentaje y habla de la pureza de los glicéridos.

#### 5.6.7.- PERFIL DE ÁCIDOS GRASOS POR CROMATOGRAFÍA DE GASES (Basado en AOCS Method Cd 1-62)

Gracias al cromatógrafo de gases y el uso de columnas capilares de gran poder de resolución, se conoce con detalle la composición isométrica, geométrica y posicional de los triglicéridos en los ácidos grasos. Sin embargo, para fines más

generales pueden utilizarse procedimientos sencillos de CG que se basan en columnas empacadas y un detector de ionización de flama que permiten obtener perfiles de ácidos grasos con suficiente detalle.

Los ácidos grasos componentes de los aceites y grasas, se esterifican con glicerol en las tres posiciones del grupo hidroxilo. Para determinar la distribución de los ácidos grasos (perfil) del aceite o grasa por CG, primero es necesario volatilizar los ácidos grasos transformándolos cuantitativamente a ésteres de alcoholes alifáticos de cadena corta. En la mayoría de los casos se preparan ésteres metílicos de ácidos grasos.

El cromatógrafo empleado fue marca Perkin-Elmer el cual emplea un detector de ionización de flama y el gas acarreador utilizado fue  $N_2$  a una presión de 10 psi. La temperatura del inyector se mantuvo a 250 °C al igual que la del detector. La temperatura del horno fue incrementando 1 °C/minuto de 170 a 180°C, tardando así, 10 minutos en alcanzar esta última temperatura. Posteriormente se incrementó 2°C/minuto para alcanzar los 240 °C en 45 minutos. Se mantuvo a esta temperatura hasta cumplir los 60 minutos.

Para la interpretación de los cromatogramas obtenidos, se empleó un estándar de Ácidos Grasos Poliinsaturados (PUFA No. 1) de Supelco.

#### 5.7.- DETERMINACIÓN DE DEGRADACIÓN DEL ACEITE VIRGEN EXTRAÍDO

Los aceites y grasas comienzan a descomponerse desde el momento en que se aíslan de su medio natural. La presencia de ácidos grasos libres indica actividad de la lipasa o actividad hidrolítica de algún tipo. En general, entre mayor es el grado de instauración contenido en el aceite, mayor es la posibilidad de que se enrancie por oxidación produciendo lo que se conoce como peróxidos.

##### 5.7.1.- VALOR DE PERÓXIDOS (Basado en AOCS Method Cd 8-53)

Mide los peróxidos del aceite. Durante el almacenamiento, la formación de peróxidos es lenta en el período de inducción. El valor se determina por la reacción de yoduro de potasio en la solución ácida con el oxígeno enlazado, seguida por la titulación del yodo que se libera con tiosulfato de sodio.

### 5.7.2.- ÍNDICE DE KREIS (Basado en BS 684: sección 2.32)

La reacción de Kreis se basa en la producción del color rojo cuando el fluoroglucinol reacciona con la grasa oxidada en solución ácida. El color que se forma se relaciona con la producción de aldehídos, productos secundarios de la degradación oxidativa.

### 5.7.3.- ACIDEZ TITULABLE (Basado en AOCS Method Cd 3d-63)

El valor ácido de un aceite o grasa se define como el número de miligramos de hidróxido de potasio que se requieren para neutralizar la acidez libre de una muestra de 1g. El resultado generalmente se expresa como el porcentaje de ácidos grasos libres (AGL). El valor ácido mide hasta qué grado los glicéridos de los aceites se han descompuesto por acción de lipasas u otras acciones. La descomposición se acelera por el calor y la luz. En general, la acidez está relacionada con la formación de ácidos grasos libres.



## 6.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 6.1.- Materia prima

Los aguacates sobre-madurados, son considerados como de desecho debido a que no cumplen con las características óptimas para su venta ya que han sido sometidos a exposición de sol, a golpes y magulladuras como consecuencia natural de venta en mercados ambulantes. El tiempo promedio de deterioro organoléptico posterior al estado óptimo de maduración (punto de venta) de estos aguacates fue de 3 a 4 días.

Por otro lado, los aguacates en estado óptimo de maduración fueron seleccionados con las consideraciones de Clase I, presentando buena apariencia externa en cáscara color negro, suavidad moderada palpable, color de la pulpa verde intenso con muy pocos o nulos puntos de oscurecimiento.

Para ambos tipos de aguacates, se seleccionaron aquellos con gramaje similar, el cual, para el caso de los aguacates en óptimo estado de maduración fueron de 100 a 120g con un peso de pulpa de entre 65-75g y el resto de cáscara y hueso; para los aguacates sobre-madurados, se seleccionaron aquellos con un gramaje total promedio de entre 90-100g con un peso de pulpa de entre 60-70g y el resto de cáscara y hueso.

### 6.2.- Determinación de humedad y curva de secado.

#### 6.2.1.- Humedad total de los frutos

Se determinó la humedad total del aguacate Hass en óptimo estado de maduración y del sobre-madurado utilizando termobalanza para poder obtener los valores de humedad final de la materia secada previa al proceso de extracción del aceite.

Tabla 8. Resultados de porcentaje de humedad total promedio para ambas fuentes de aguacate empleadas.

Tipo de aguacate	Humedad total promedio (%)
ÓPTIMO	68.50 ± 0.5
SOBRE-MADURADO	57.63 ± 0.5

Es claro que la cantidad de agua perdida durante el proceso de secado no es la misma para ambas fuentes de aguacate, esto debido a las condiciones en las que el aguacate sobre-madurado se encontraba, tenía la característica de haber perdido humedad por la exposición al sol y maltrato en general.

Es conveniente resaltar la importancia de la medición de la humedad total de ambas fuentes para evitar la sobreestimación en base seca de la cantidad de aceite obtenido a partir de las materias primas.

Una vez obtenida la humedad total de ambas materias primas, se procedió a la elaboración de la curva de secado.

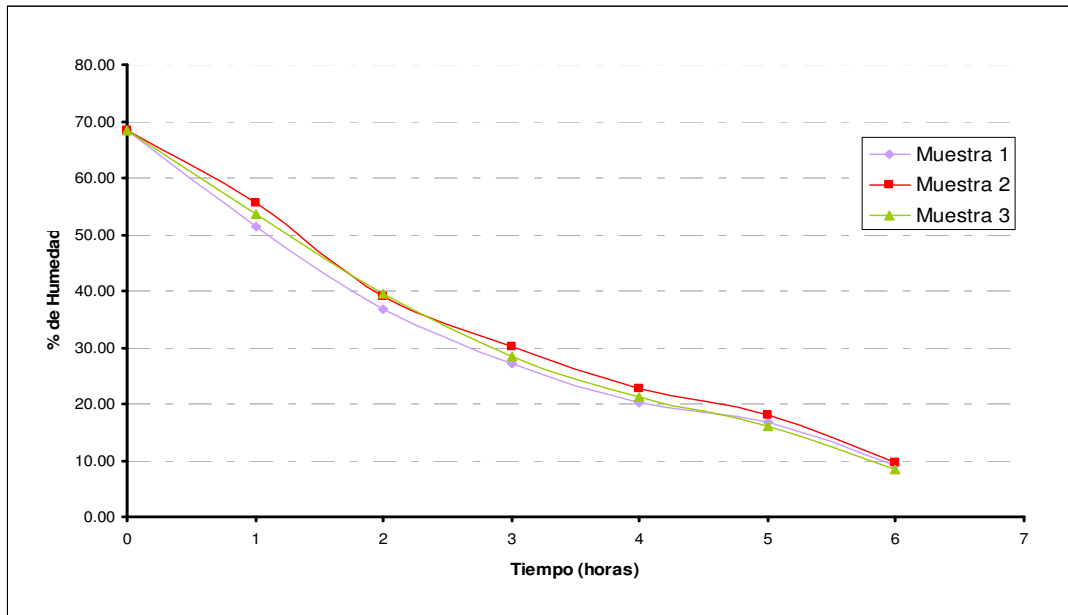
#### 6.2.2.- Curva de secado del aguacate en estado óptimo de maduración.

Se monitoreó la pérdida de humedad tanto del aguacate de óptima maduración como del sobre-madurado y se realizó una curva de secado de cada uno para comprender su comportamiento de pérdida de humedad y determinar el tiempo necesario de secado para futuras extracciones. Dicho tiempo sería aquel con el que se obtuviera un porcentaje de humedad de la materia secada en un rango entre 8 y 10 %; la razón de lo anterior es debido a que porcentajes menores afectarían la calidad del aceite, disminuiría el rendimiento y existe la posibilidad de la formación de compuestos indeseables ya que se corre el riesgo de quemar la materia prima; un mayor porcentaje de humedad provocaría la rancidez hidrolítica del aceite, además de disminuir el rendimiento de la extracción.

El monitoreo periódico de la pérdida de humedad se realizó cada hora a una temperatura de 60-65 °C.

Como puede observarse en figura 8, el porcentaje de humedad necesario para la extracción, se obtuvo a las 6 horas de secado, este fue el tiempo empleado para la extracción de donde se obtuvo la cantidad de aceite necesaria para la realización de las pruebas y análisis.

Figura 8.- Humedad del aguacate en óptima maduración durante el secado.  
(T=60-65°C, 6 hrs)



La humedad perdida para este tipo de aguacate fue de casi 60% para alcanzar una humedad final de 8.97% (humedad necesaria para realizar la extracción). En la tabla 9 se muestran los porcentajes de las muestras realizadas.

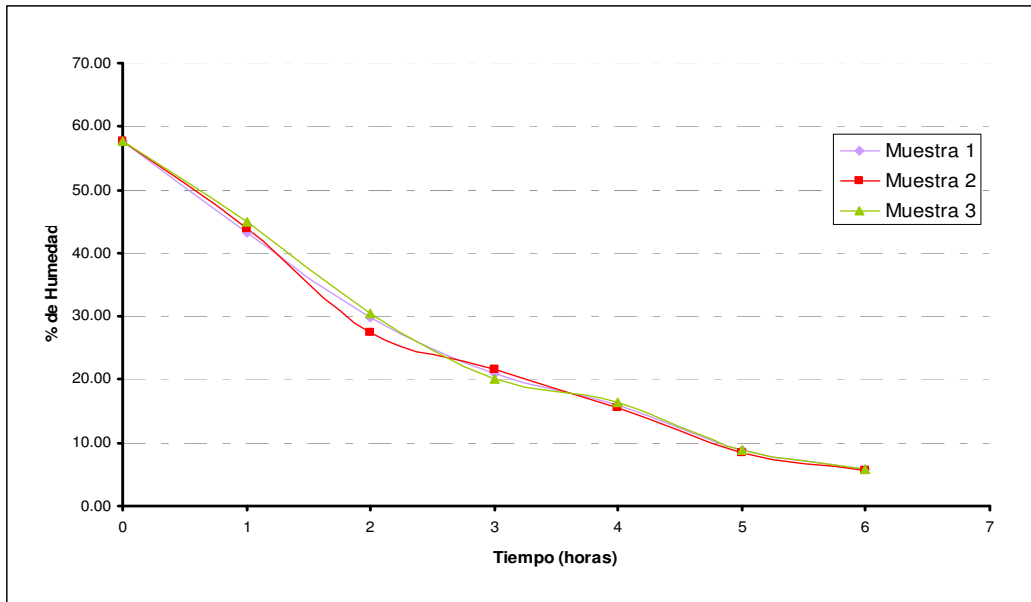
Tabla 9.- Porcentaje de humedad total del aguacate en óptima maduración perdida durante el secado.

Muestra	Pérdida de humedad total (%)
1	59.48
2	58.94
3	59.99
Promedio	59.47
D.E.	0.52
C.V.	0.88

6.2.3.- Curva de secado del aguacate sobre-madurado.

Se sometió el aguacate bajo las mismas condiciones de secado que el aguacate en óptimo estado de maduración, de esta manera, el porcentaje de humedad necesario para la extracción se obtuvo a las 5 horas (Figura 9).

Figura 9.- Humedad del aguacate sobre-madurado durante el secado  
(T=60-65°C, 6 hrs)



La humedad perdida para este tipo de aguacate fue de 51% aproximadamente para alcanzar una humedad final de 8.61% (humedad necesaria para realizar la extracción). En la tabla 10 se muestran los porcentajes de las muestras realizadas.

Tabla 10.- Porcentaje de humedad total del aguacate sobre-madurado perdida durante el secado.

Muestra	Pérdida de humedad total (%)
1	51.73
2	51.68
3	52.11
<b>Promedio</b>	51.84
<b>D.E.</b>	0.23
<b>C.V.</b>	0.45

Los tiempos de secado de ambas fuentes de aguacate fueron diferentes entre sí, siendo una hora menor el tiempo requerido para el aceite de aguacate sobre-madurado. Lo anterior es debido a que el aguacate sobre-madurado contenía menor cantidad de humedad desde antes del secado y se buscaba partir desde materias primas secas con similar porcentaje de humedad. El porcentaje de humedad de la materia secada se determinó a partir del valor total de pérdida de agua en la materia prima, la cual fue en promedio de 68.5 % para el aguacate en estado óptimo de maduración y de 57.6 % para el sobre-madurado (Tabla 8).

### 6.3 Extracción de los aceites

Existen diferentes métodos para la extracción de aceites vegetales, y el método de extracción por disolventes empleando hexano es el más usado para la obtención de aceites vegetales, asimismo, la selección de éste método y su adaptación, se basó en la factibilidad, la disponibilidad de reactivos y el equipo necesario para el mismo. Con los tiempos de secado para cada una de las fuentes de aguacate, se procedió a la obtención de los aceites respectivos. Las cantidades de aceite obtenidos para ambos tipos de aguacates fueron las que se muestran en la tabla 11 a continuación.

Tabla 11.- Resultados de la extracción de aceite de ambas fuentes de aguacate tipo Hass.

<b>Tipo de aguacate</b>	<b>% aceite extraído (BH)</b>	<b>% aceite extraído (BS)</b>
<b>ÓPTIMO</b>	15.82	39.09
<b>SOBRE-MADURADO</b>	12.31	24.14

Los porcentajes de aceite extraídos para los dos diferentes tipos de aguacate son diferentes, teniendo un mayor porcentaje de extracción para el fruto en óptimo estado de maduración. El aguacate tiene la característica de aumentar la cantidad de aceite con forme éste madura, sin embargo esta cantidad lipídica del fruto no describe una curva en constante aumento, llega a un punto máximo que puede tratarse del estado

óptimo de maduración, posterior a éste, la cantidad va en descenso y va de la mano de igual forma con la cantidad de agua contenida.

### 6.3.1.- Comparativo de porcentaje de extracción por lotes con el método de Soxhlet.

La determinación de grasa por Soxhlet, es una metodología oficial (AOAC) para conocer el contenido de grasa de un alimento, por lo que se realizó este procedimiento para determinar que tan similar era el contenido de aceite por la extracción en lotes con respecto a la metodología oficial.

Las muestras para esta extracción fueron del mismo lote de aguacates empleados para la extracción en frío para evitar alguna variación debido a la materia prima.

A continuación se muestran en la tabla 12 y 13, los resultados de porcentaje de aceite obtenido en BH de las dos fuentes de aguacate (Condiciones de secado: 60-65 °C, 6 hrs).

Tabla 12. Extracción de aceite por Soxhlet (aguacate en óptimo estado de maduración).

<b>Muestra</b>	<b>Aceite extraído (%)</b>
<b>1</b>	<b>18.64</b>
<b>2</b>	<b>18.94</b>
<b>3</b>	<b>18.81</b>
<b>Promedio</b>	18.79
<b>D.E.</b>	<b>0.15</b>
<b>C.V.</b>	<b>0.80</b>

Tabla 13. Extracción de aceite por Soxhlet (aguacate sobre-madurado).

<b>Muestra</b>	<b>Aceite extraído (%)</b>
<b>1</b>	16.34
<b>2</b>	15.82
<b>3</b>	15.91
<b>Promedio</b>	16.02
<b>D.E.</b>	0.27
<b>C.V.</b>	1.73

Existió una diferencia en los porcentajes tanto para el aceite obtenido de aguacate en óptimo estado de maduración como para el sobre-madurado (Tabla 14); las cantidades obtenidas por Soxhlet fueron mayores ya que, debido a que este proceso requiere de poca manipulación y esto tiene como consecuencia, una mayor eficacia.

Tabla 14. Comparativo de porcentaje de aceite obtenido por ambos métodos de extracción de ambas fuentes de aguacate.

Proceso de extracción	Soxhlet (%)	Lotes (%)
Óptimo	18.79	15.82
Sobre-madurado	16.02	12.31

Emplear el método de extracción por lotes permite que el aceite obtenido puede reutilizarse para los análisis fisicoquímicos y de degradación correspondientes, sin embargo esto implica un menor rendimiento de la extracción ya que puede perderse parte del aceite durante las varias extracciones manipuladas.

### 6.3.2.- Optimización del método de extracción.

Uno de los motivos por el que se obtuvo menor cantidad de aceite para los dos tipos de fuente de aguacate, es el corto tiempo de agitación en frío (temperatura ambiente) con el disolvente. Por esta razón, adicionalmente al los objetivos de este trabajo, se procedió a la elaboración de una curva de porcentaje de aceite obtenido vs tiempo de agitación para poder obtener el tiempo de agitación con el que se podría tener una mayor cantidad de aceite, mejorando el rendimiento del proceso.

Considerando que el tiempo de agitación fue de 10 minutos por cada intervalo de extracción para un total de tres repeticiones (ver proceso de extracción en Apéndice A), se realizó un monitoreo de aceite extraído tomando como única variable, el tiempo de agitación.

La relación disolvente-muestra fue de 3:1 y se realizó un solo batch empleando 900mL de hexano como disolvente y 300g de aguacate Clase I. Los intervalos de extracción de aceite se realizaron cada hora hasta completar 5 horas y posteriormente se

continuó con el mismo monitoreo al día siguiente durante las tres horas restantes hasta completar las 24 horas de agitación. A continuación se describen los resultados de gramos de aceite extraído en los intervalos de tiempo descritos.

Tabla 15. Cantidad de aceite extraído de aguacate Clase I con 8.85% de humedad.  
Variable: tiempo de agitación

<b>Tiempo de extracción a 200 rpm (Horas)</b>	<b>Aceite recuperado acumulado (%)</b>
<b>1</b>	1.35
<b>2</b>	1.52
<b>3</b>	1.66
<b>4</b>	1.72
<b>5</b>	1.70
<b>6</b>	1.74
<b>22</b>	2.44
<b>23</b>	2.45
<b>24</b>	2.46
<b>TOTAL</b>	17.04

Se observa una tendencia clara que va en aumento hasta que se llega a un máximo de cantidad de aceite extraído que no varía significativamente en las tres últimas horas de agitación hasta alcanzar las 24 horas.

Así pues, se tiene que el tiempo de agitación en el cual se obtiene la mayor cantidad de aceite extraído mediante este método es a las 24 horas aproximadamente. Es claro, además, que entre mayor tiempo de agitación, mayor es la cantidad de aceite extraído por lo que es conveniente emplear este tiempo de agitación en futuras extracciones.

#### 6.4 Determinaciones físico-químicas de los aceites.

Posteriormente se procedió a los análisis físico-químicos de los aceites extraídos con la finalidad de comparar la calidad de ambos entre sí.



Tabla 16.- Resultados de análisis físico-químicos efectuados a los dos aceites.

Parámetro	ÓPTIMO	SOBRE-MADURADO
Índice de refracción (20 °C)	1.4667	1.4652
Punto de humo	234 °C	239 °C

Tabla 17.- Resultados de análisis físico-químicos efectuados a los dos aceites.

PARÁMETRO	ÓPTIMO	SOBRE-MADURADO
Densidad relativa	0.9089 ± 0.003	0.9049 ± 0.004
Índice de saponificación (mg KOH/g aceite)	79.66 ± 0.1243	82.79 ± 0.8460
Materia insaponificable (%)	2.94 ± 0.001	2.87 ± 0.004
Índice de yodo	80.81	81.19

Nota: Para los parámetros de densidad relativa, índice de saponificación y materia insaponificable, los coeficientes de variación fueron menores al 2%.

Comparando los resultados de las tablas 16 y 17, puede observarse que son muy similares entre sí. Los valores de las pruebas de Índice de refracción, materia insaponificable, índice de yodo y densidad relativa no arrojaron resultados con diferencias significativas. Las mayores diferencias se obtuvieron en el índice de saponificación y en el punto de humo.

Para el análisis de lo obtenido, se tomaron en cuenta las especificaciones de los métodos de la AOCS para aceites vegetales comestibles (Tabla 18).

Tabla 18.- Tabla de especificaciones de análisis para aceites vegetales (AOCS)

PARÁMETRO	UNIDAD	ESPECIFICACIÓN	MÉTODO
DENSIDAD RELATIVA	(20 °C)	0,915 - 0,920	AOCS Cc 10a-25
ÍNDICE DE REFRACCIÓN	(20 °C)	1,46 - 1,47	AOCS Cc 7-25
MATERIAL INSAPONIFICABLE	(%)	<3	AOCS Ca 6a-40
ÁCIDOS GRASOS LIBRES (ÍNDICE DE ACIDEZ)	(% ác. oléico)	0,4 máx.	AOCS Ca 5a-40
ÍNDICE DE PERÓXIDO	(meq peroxidos/kg)	5 máx.	AOCS Cd 8-53

Así pues, para la densidad relativa tenemos que ambos aceites se encuentran un poco por debajo de la especificación, sin embargo esta diferencia no es significativa. Para el caso del índice de refracción, en ambos casos se encuentra dentro del rango permitido.

Por otro lado, si se obtiene en porcentaje la cantidad de materia insaponificable, se estaría hablando de un 2.94 % (g de materia insaponificable/g de aceite) para el aceite obtenido de aguacate en estado óptimo de maduración y del 2.87% para el aceite obtenido del aguacate sobre-madurado. Los porcentajes para ambos casos se encuentran dentro de especificación. La mayoría de los aceites y grasas de pureza normal contienen menos de 2% de materia insaponificable<sup>7</sup>, sin embargo muchos de estos aceites comerciales son sometidos a un proceso de refinación y obtenidos bajo procesos industriales estandarizados. En el caso de los aceites de aguacate obtenidos bajo el proceso descrito en este trabajo, el porcentaje de materia insaponificable se encuentra dentro del rango que maneja en especificación la AOCS (ver tabla 12).

El índice de saponificación (IS) nos da una idea del peso molecular de los ácidos grasos presentes en el aceite, la relación es inversa, de manera que, entre menor sea el IS, mayor será el peso molecular de los ácidos grasos. Los valores obtenidos en nuestros aceites son relativamente bajos, esto se debe a que al tratarse de aceites no refinados, no todo el contenido graso son triglicéridos y por lo tanto no saponifican al carecer de enlaces éster. Por lo anterior, se decidió realizar el análisis de valor de yodo el cual, para fines de identificación, es más útil que el índice de saponificación.

El valor de yodo nos da una idea del grado de instauración de los ácidos grasos presentes en el aceite por lo que si éste es bajo, significa que la cantidad de ácidos grasos saturados y/o monoinsaturados es alta. En nuestro caso, ambos aceites tienen un valor muy similar al del aceite de oliva virgen el cual oscila entre los 75-94 aproximadamente<sup>7</sup>. Así pues esta similitud es un indicativo de que la composición del aceite de aguacate es muy parecida a la de oliva, lo que significa que el principal ácido graso presente es el oléico; para corroborar lo anterior se realizó la cromatografía de gases y se obtuvieron resultados más precisos como se verá más adelante (Capítulo 6.5).

Los puntos de humo de ambas fuentes de aguacate no son muy diferentes entre sí.

En realidad, para el caso de los aceites de aguacate que se comercializan en México de connotación “extra virgen”, se manejan temperaturas alrededor de los 250 °C. Lo anterior coloca al aceite de aguacate como el aceite con mayor punto de humo entre los aceites vegetales; si se compara con punto de humo del aceite de oliva, el aceite de aguacate rebasa por mucho su estabilidad al freído (punto de humo: 188-190 °C dependiendo del grado de refinación<sup>1</sup>).

La ventaja recae en que permite una mayor estabilidad si se emplea para cocinar sin el riesgo de que se queme y pierda sus características nutrimentales. Para el caso de los aceites obtenidos bajo el proceso de extracción en frío por lotes, la humedad contenida en los mismos influyó en la disminución del valor final de punto de humo. Esto punto importante a considerar ya que la humedad es un factor que promueve la degradación de los aceites vegetales.

#### 6.5.- Análisis de composición de ácidos grasos por cromatografía de gases.

Se realizó el análisis del perfil de ácidos grasos para ambos aceites mediante el método de cromatografía de gases. Cabe recordar que este método se basa en la detección de los ésteres de ácidos grasos reportándolos en porcentaje de concentración en la muestra inyectada; la esterificación se llevó a cabo con mucho cuidado para evitar la menor cantidad posible de ruido en los cromatogramas.

Para el análisis de los cromatogramas, se empleó un estándar de ácidos grasos para identificar los picos que representan los ácidos grasos más importantes (tabla 19).

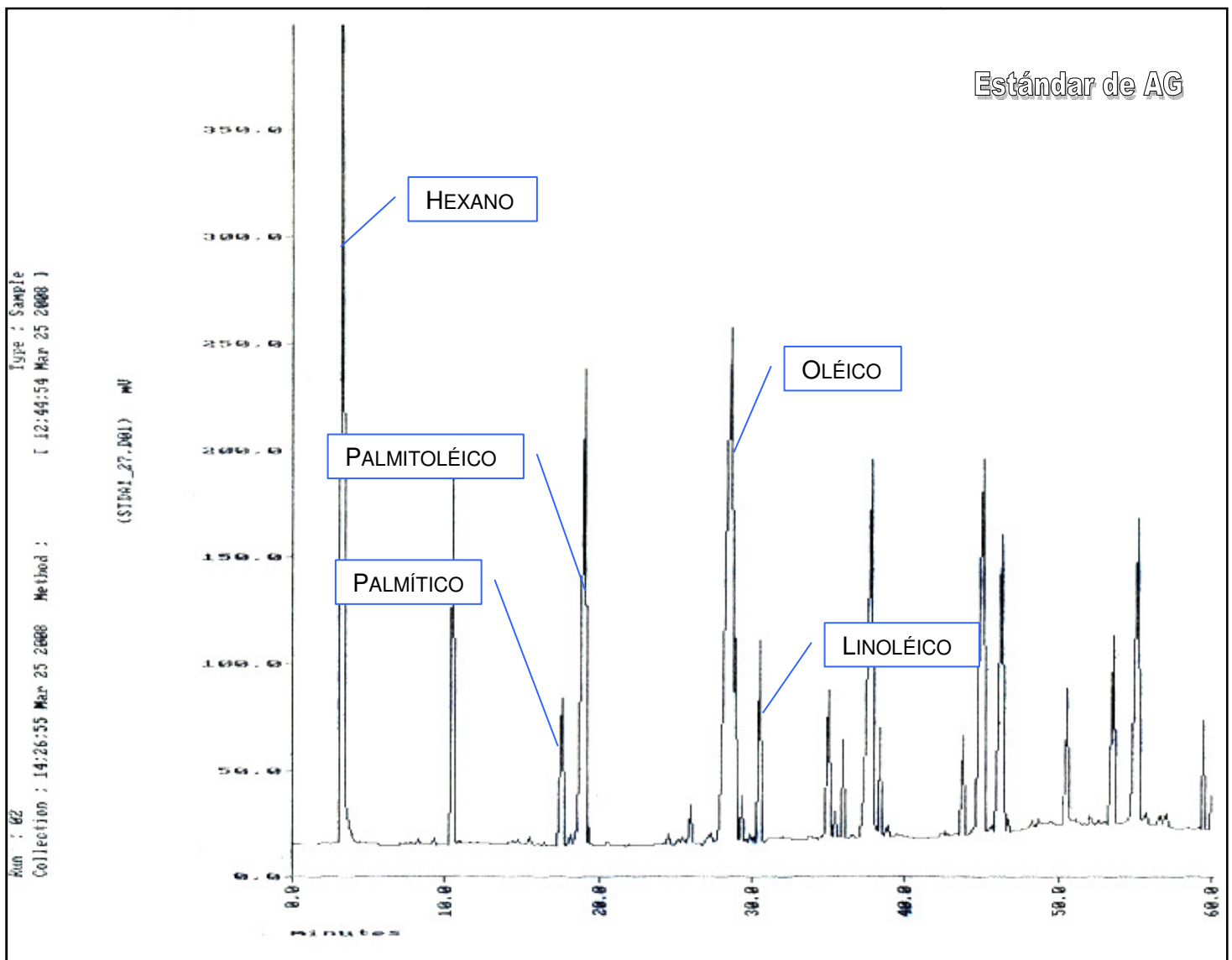
Tabla 19.- Datos de referencia del estándar de ácidos grasos.

Ácido Graso	Nombre	Tiempo de retención (minutos)
<b>Hexano*</b>	Hexano	3.25
<b>C16:0</b>	Palmitico	17.542
<b>C16:1</b>	Palmitoleico	19.108
<b>C18:1n9</b>	Oleico	28.72
<b>C18:2n6</b>	Linoleico	30.562
<b>C18:4n3</b>	---	35.008
<b>C20:1n9</b>	Eicosenoico	37.888

\*No es ácido graso pero es detectable en el análisis cromatográfico.

A continuación se presenta el cromatograma del estándar de Ácidos Grasos empleado para realizar el comparativo de los ácidos grasos presentes en los dos tipos de aceites extraídos.

Cromatograma 1.- Estándar de Ácidos Grasos Poliinsaturados (Supelco)



Posteriormente, se obtuvieron los cromatogramas de los dos aceites obtenidos, tanto del aguacate en estado óptimo de maduración, como del aguacate sobre-madurado.

Tabla 20.- Perfil de ácidos grasos en aceite de aguacate en estado óptimo de maduración.

Ácido Graso	Nombre	% Concentración
C16:0	Palmítico	19.618 ± 0.955
C16:1	Palmitoleico	6.236 ± 0.214
C18:1n9	Oléico	57.738 ± 0.308
C18:2n6	Linoléico	11.085 ± 0.423
C18:4n3	--	0.762 ± 0.037
C20:1n9	Eicosenoico	0.298 ± 0.014

Cromatograma 2.- Perfil de ácidos grasos en aceite de aguacate en estado óptimo de maduración.

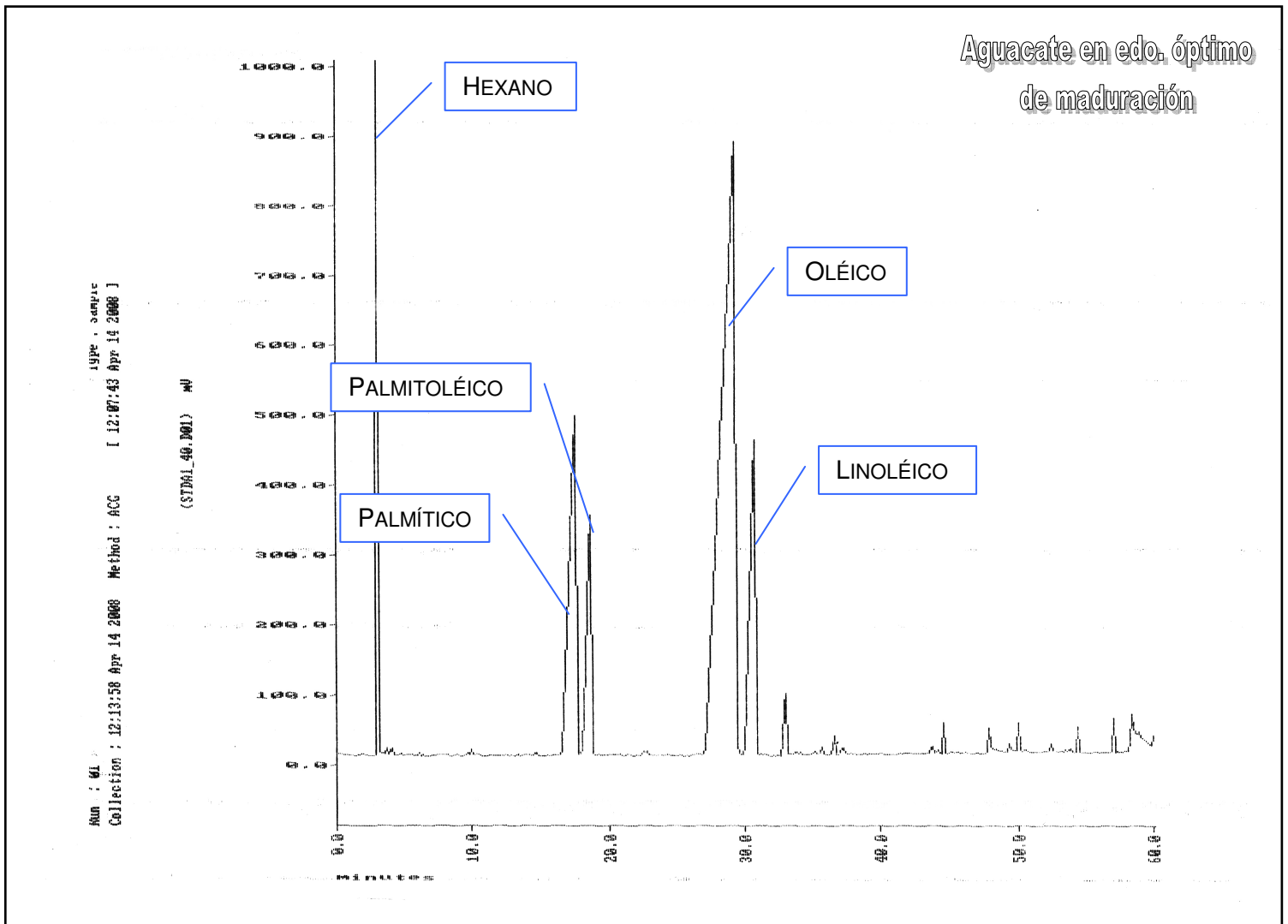
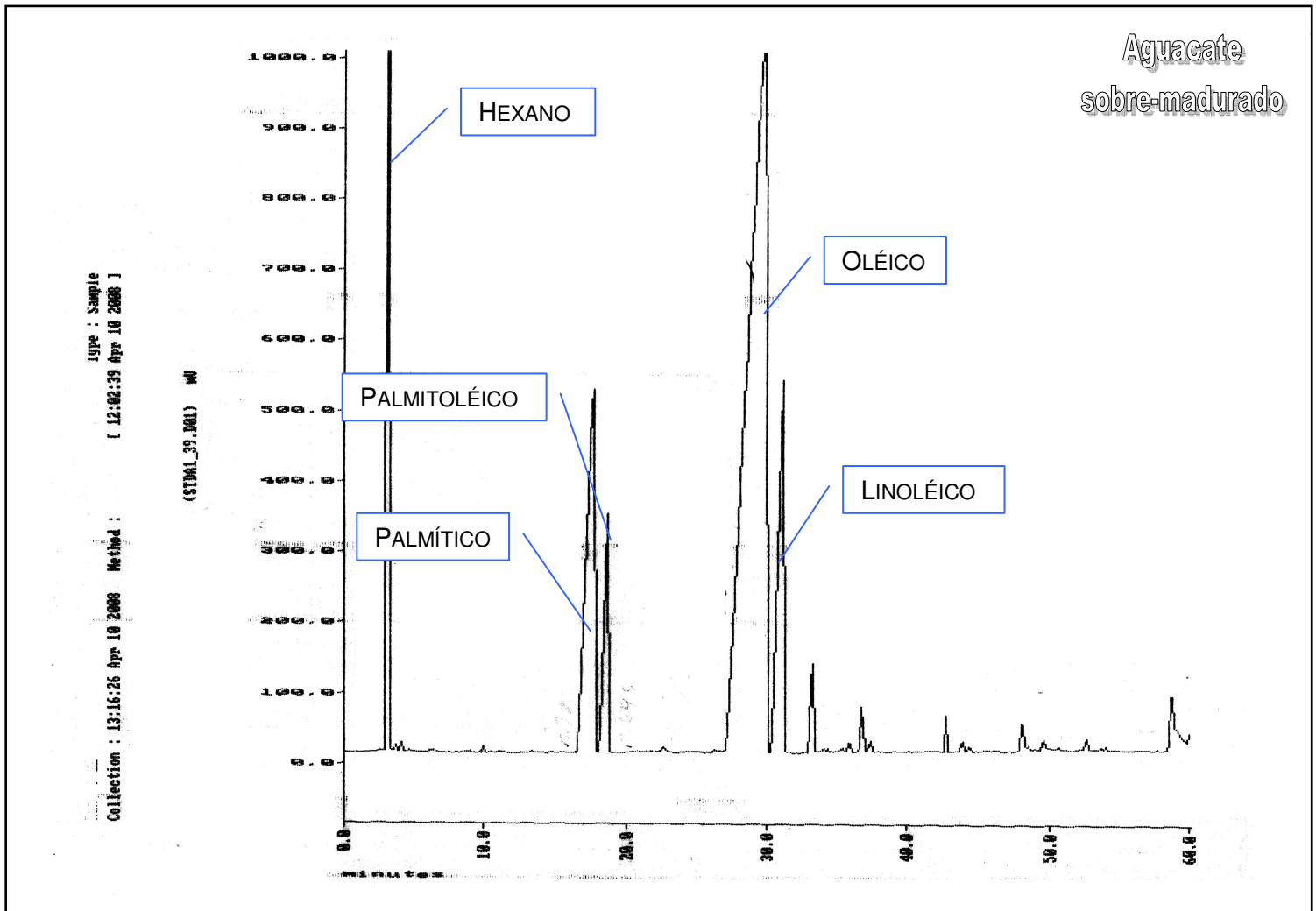


Tabla 21.- Perfil de ácidos grasos en aceite de aguacate sobre-madurado.

Ácido Graso	Nombre	% Concentración
C16:0	Palmítico	13.161 ± 0.584
C16:1	Palmitoléico	5.110 ± 0.197
C18:1n9	Oléico	63.007 ± 3.333
C18:2n6	Linoléico	9.752 ± 0.031
C18:4n3	--	1.093 ± 0.049
C20:1n9	Eicosenoico	0.284 ± 0.0004

Cromatograma 3.- Perfil de ácidos grasos en aceite de Aguacate sobre-madurado.



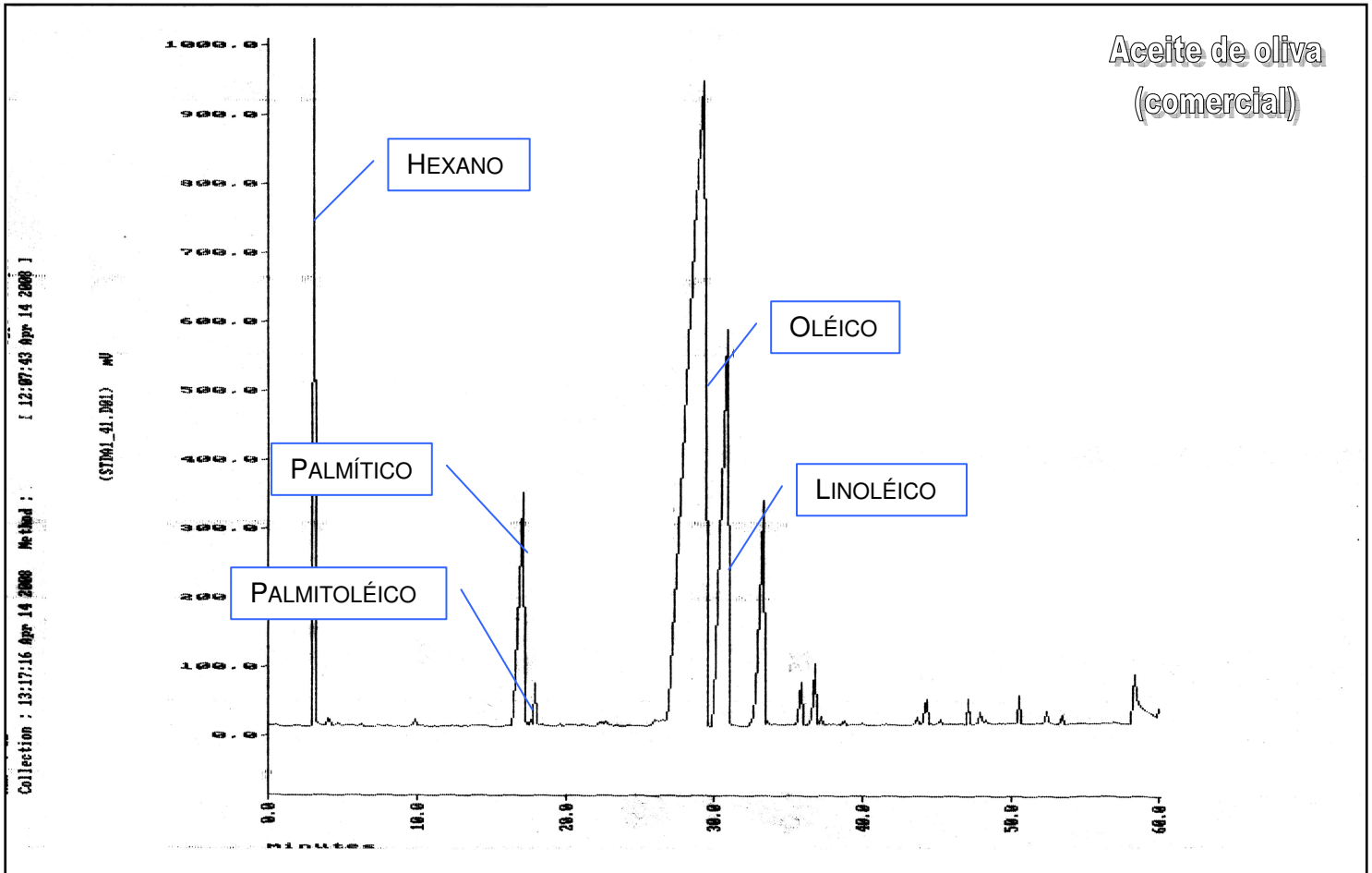
Asimismo, se realizó el perfil de ácidos grasos de un aceite comercial de oliva (virgen) para establecer un comparativo con respecto a los aceites obtenidos.

Tabla 22.- Perfil de ácidos grasos en aceite oliva comercial.

Ácido Graso	Nombre	% Concentración
C16:0	Palmítico	7.249±0.254
C16:1	Palmitoléico	0.443±0.017
C18:1n9	Oléico	63.986±3.436
C18:2n6	Linoléico	16.674±0.087
C18:4n3	--	5.857±0.226
C20:1n9	Eicosenoico	0.862±0.042

Aceite de oliva 100% puro "El Olivo" #lot. 2406. Hecho en México por MAPRINSA S.A. de C.V.  
 Ingredientes: Aceite de oliva virgen extra y refinado

Cromatograma 4.- Perfil de ácidos grasos en aceite de oliva comercial.



Tenemos que los aceites obtenidos de ambas fuentes de aguacate Hass, son muy similares en composición, en donde predomina principalmente el ácido oléico. El aceite de aguacate sobre-madurado contiene 5.26% más de ácido oléico que el aceite de aguacate en estado óptimo de maduración; asimismo, este último contiene 6.45% más de ácido palmítico que el primero. Se infiere entonces que, durante la maduración del fruto, el contenido del principal ácido saturado que contiene, en este caso, palmítico, disminuye y el contenido de ácido oléico aumenta, este aumento resulta interesante ya que los ácidos grasos monoinsaturados favorecen la producción de HDL (colesterol bueno) en sangre, disminuyendo así problemas cardiovasculares derivados de enfermedades como lo es la aterosclerosis.

Por otro lado, también tenemos que la disminución mencionada de ácido palmítico en el aceite de aguacate sobre-madurado, es positiva debido a que este ácido graso saturado es conocido por causar problemas de hipercolesterolemia.

El aceite de aguacate sobre-madurado se acerca más al porcentaje de concentración de ácido oléico contenido en el aceite de oliva. A pesar de que son similares en contenido de este ácido graso, existe una diferencia importante que hacen al aceite de aguacate tener mejor calidad y esto es que, el punto de humo es menor en el de oliva debido a que, a pesar de tener un alto porcentaje de oléico, también contiene más del doble de la cantidad de linoléico, el cual es un ácido graso insaturado susceptible a oxidación a altas temperaturas. Así, el aceite de aguacate es mejor para emplearse como aceite de cocina para freído ya que es más estable a altas temperaturas.

Otro aspecto importante a considerar es que el hecho de tener un mayor contenido de ácido linoléico implica tener un mayor riesgo de conversión de los ácidos grasos “cis”, a “trans”, lo cual indeseable ya que los productos con ácidos grasos “trans” pueden ser particularmente peligrosos para el corazón y se asocian con el mayor riesgo de desarrollo de algunos cánceres<sup>25</sup>. Los estudios más recientes demuestran que los niveles más altos de ácidos grasos “trans” pueden incrementar el riesgo de diabetes tipo II.



### 6.6.- Degradación y rancidez de los aceites.

Las pruebas de deterioro (Tabla 23) se realizaron con el fin de analizar la calidad de los aceites extraídos mediante este método y comparar entre ellos si influye de alguna u otra manera, el estado de maduración del fruto en la calidad del aceite.

Tabla 23.- Resultados de análisis de deterioro efectuados a los dos aceites.

PARÁMETRO	ÓPTIMO	SOBRE-MADURADO
<b>Acidez titulable (% ác. oléico)</b>	1.5734 ± 0.0545	0.8017 ± 0.0358
<b>Peróxidos (meq peroxidos/kg)</b>	2.6791 ± 0.2210	1.5754 ± 0.0886
<b>Índice de Kreis (Abs/g)</b>	1.0041 ± 0.0709	0.3566 ± 0.008

Para el caso del índice de acidez, el valor obtenidos en el aceite de aguacate en óptimo estado de maduración, es alto de acuerdo a las especificaciones (Ver tabla 18). Esto pudo deberse principalmente a que el aceite extraído no se trató con agentes anhidros o secantes que extrajeran toda el agua que pudo quedar o mezclarse durante el proceso, esto pudo favorecer la rancidez hidrolítica en el aceite y liberar ácidos grasos en el mismo.

Usualmente la acidez de la mayoría de los aceites comienza a hacerse notable al paladar cuando los ácidos grasos libres calculados como ácido oléico constituyen aproximadamente del 0.5 al 1.5 %, sin embargo existen aceites que pueden no estar del todo rancios con valores similares a los anteriores y otros que estando bastante rancios sólo presentan acidez mínima. Por este motivo fue importante realizar pruebas que nos permitieran saber con mayor exactitud el deterioro de los aceites.

Los valores bajos de índice de peróxidos nos pueden indicar dos situaciones:

- 1.- El deterioro oxidativo de nuestro aceite se encuentra en etapa de iniciación.
- 2.- El deterioro oxidativo de nuestro aceite se encuentra en etapa de terminación.

Por esta razón fue importante realizar la prueba de Kreis, la cual detecta la formación

de productos secundarios como aldehídos o cetonas que son producidos en etapa de terminación.

La siguiente gráfica proporciona una idea más clara de los puntos en los que se encuentran aproximadamente ambos aceites extraídos durante las etapas de deterioro oxidativo:

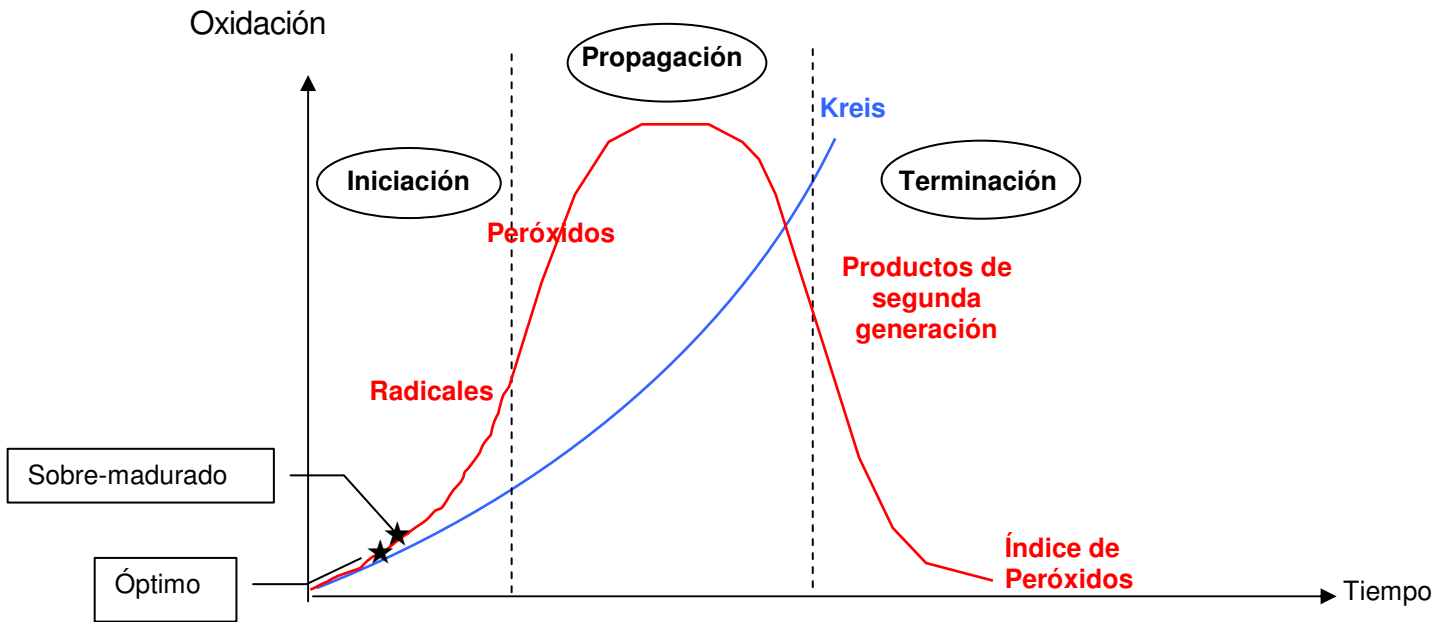


Figura 10. Etapas del deterioro oxidativo de los aceites de ambas fuentes de aguacate.

Los resultados obtenidos tanto de índice de peróxidos, como de índice de Kreis, son bajos e indican que ambos aceites se encontraron en etapa de iniciación oxidativa al ser analizados a las 4 o 5 semanas de ser extraídos.

Al ser muy similares los valores de degradación de ambos aceites, se cree que, a pesar de la sobre-maduración del fruto la rancidez producida por enzimas no es tan significativa y puede obtenerse un aceite de similar calidad al de un aceite extraído de frutos en estado óptimo de maduración.

## 7.- ANÁLISIS DE MERCADO

Se realizó un análisis de mercado de los diferentes productos, tanto alimenticios como cosméticos, que emplean el aceite de aguacate como ingrediente, determinando así, las alternativas más viables de uso y aplicación. Dicho análisis se basó principalmente en los estudios de Mintel (GNPD) <sup>9</sup> y se complementó con los productos en diversos puntos de venta como supermercados, tiendas de autoservicio y áreas de alimentos en tiendas departamentales.

### 7.1 Mercado de aceite de aguacate comestible en México.

Durante muchos años, a pesar de las muchas propiedades nutrimentales que posee el aceite de aguacate, éste se destinaba para productos en los que las especificaciones de calidad no abarcaban el consumo humano. Actualmente en nuestro país existen dos principales industrias productoras de aceite de aguacate destinado a consumo como aceite vegetal comestible y puede ser adquirido en supermercados, tiendas de autoservicio o especializadas. Las características de cada uno de ellos, se describe a continuación:

#### AVORO

##### Características generales:

- Producto: Aceite de aguacate Extra Virgen
- Empresa: Avoro Foods S. de R.L.
- Marca: Avoro
- Categoría: Salsas y Condimentos
- Sub-categoría: Aceites
- País: México
- Fecha de Lanzamiento: Julio 2007
- Precio Local: \$90.00 (aproximado para toda su línea de productos)
- Precio en USD (precio de exportación): 12.90 USD



Figura 11. Aceite de aguacate “Avoro”.

##### Descripción del Producto:

Avoro Aceite de Aguacate (Extra Virgin Avocado Oil) se encuentra disponible en una presentación de 250ml en botella de vidrio.

**Análisis del producto:**

- Tipo de Envase: Botella
- Material de Envase: Vidrio (el color es oscuro para evitar la penetración de luz y fomentar la rancidez del producto).
- Tamaño: 250.00 ml
- Almacenamiento: Temperatura Ambiente
- Marca Propia: “Avero”, la cual tiene cuatro diferentes presentaciones, todas de 250mL:
  - Aceite de Aguacate Extra Virgen
  - Aceite de aguacate con infusión de lima
  - Aceite de aguacate con infusión de jalapeño
  - Aceite de aguacate con infusión de cilantro
- Ingredientes: Aceite de aguacate, con o sin infusión de cilantro, infusión de lima o infusión de jalapeño.
- Valores Nutricionales: Tamaño de porción: 15mL (1 Cda.), Porciones por envase: 17, Cantidad por porción: 15 mL, Contenido energético: 511KJ (122kcal), prot. 0, grasas: 13.5 de las cuales: saturadas: 1.5, AG trans:0, Poliinsat: 2, Monoinsat: 10g, Colesterol: 0mg, Carbohidratos: 0g, sodio 0mg, Vit E: 27%IDR.

**AVOCOIL****Características generales:**

- Producto: Aceite refinado de aguacate
- Empresa: Avo-Plus
- Marca: Avocat, Avocoil
- Categoría: Salsas y Condimentos
- Sub-categoría: Aceites
- País: México
- Fecha de Lanzamiento: Octubre 2005
- Precio Local: \$70.00
- Precio en USD: 6.57 USD



Figura. 12. Aceite de aguacate “Avocoil” Vista frontal del producto.



Figura. 13. Aceite de aguacate “Avocoil” Vista trasera del producto.

**Descripción del Producto:**

Avocoil Aceite Refinado de Aguacate está elaborado 100% con aguacates de Michoacán. Es un producto con “claim” sin colesterol y es producido de manera natural sin químicos ni aditivos.

**Análisis del producto:**

- Tipo de Envase: Botella
- Material de Envase: Vidrio (el color es oscuro para evitar la penetración de luz y fomentar la rancidez del producto).
- Tamaño: 375.00 ml
- Almacenamiento: Temperatura Ambiente
  - Marca Propia: “Avocoil”, con una sola presentación.
- Ingredientes: Aceite refinado de aguacate
- Valores Nutricionales: Tamaño de porción: 14g, porciones por envase: 26, Contenido energético: 54kcal, proteínas 0g, grasa 14g, de las cuales: saturadas 2g, poliinsat 2g, monoinsat 10g, colesterol 0mg, carbohidratos 0g, sodio 0mg.

7.2 Mercado de productos que emplean aceite de aguacate como ingrediente en México.

En nuestro país existen diversos productos tanto nacionales como de importación en los que el aceite de aguacate se emplea como ingrediente para dar funcionalidad final en el producto, de todos los lanzamientos registrados, a continuación se mencionan algunos que abarcan los principales sectores farmacéutico y cosmético.

**Crema para ojos**

<b>Empresa:</b>	Cosmetobelleza Natural IM
<b>Marca:</b>	Im
<b>Categoría:</b>	Cosmética
<b>Sub-categoría:</b>	Cuidado de los Ojos
<b>País:</b>	México
<b>Fecha de Publicación:</b>	Feb 2009
<b>Tipo de Lanzamiento:</b>	Nueva
	Variedad/Ampliación de la Gama
<b>Precio Local:</b>	\$63.00
<b>Precio en Dólares (EEUU):</b>	4.53USD



Figura 14. Crema para párpados.

**Crema hidratante para bebé**

<b>Empresa:</b>	Avent
<b>Marca:</b>	Avent Naturally Babycare
<b>Categoría:</b>	Cosmética
<b>Sub-categoría:</b>	Cuidado Corporal
<b>País:</b>	México
<b>Fecha de Publicación:</b>	Dic 2008
<b>Tipo de Lanzamiento:</b>	Nuevo Producto
<b>Precio Local:</b>	\$135.00
<b>Precio en Dólares (EEUU):</b>	10.00USD



Figura 15. Crema hidratante para bebé.

**Jabón para cuerpo**

<b>Empresa:</b>	Crabtree & Evelyn
<b>Marca:</b>	Crabtree & Evelyn Pomegranate Rouge
<b>Categoría:</b>	Jabón y Productos de Baño
<b>Sub-categoría:</b>	Productos para la Ducha
<b>País:</b>	México
<b>Fecha de Publicación:</b>	Dic 2008
<b>Tipo de Lanzamiento:</b>	Nuevo Producto
<b>Precio Local:</b>	\$170.00
<b>Precio en Dólares (EEUU):</b>	12.84USD



Figura 16. Jabón para cuerpo.

**Mascarilla facial**

<b>Empresa:</b>	Freeman Beauty Labs
<b>Marca:</b>	Freeman Feeling Beautiful Polished Aguacate y Avena
<b>Categoría:</b>	Cosmética
<b>Sub-categoría:</b>	Cuidado Facial/Cuello
<b>País:</b>	México
<b>Fecha de Publicación:</b>	Sep 2008
<b>Tipo de Lanzamiento:</b>	Nuevo Producto
<b>Precio Local:</b>	\$62.00
<b>Precio en Dólares (EEUU):</b>	6.22USD



Figura 17. Mascarilla facial.

**Brillo labial**

<b>Empresa:</b>	The Body Shop
<b>Marca:</b>	The Body Shop
<b>Categoría:</b>	Cosmética
<b>Sub-categoría:</b>	Cuidado de los Labios
<b>País:</b>	México
<b>Fecha de Publicación:</b>	Ago 2008
<b>Tipo de Lanzamiento:</b>	Nuevo Producto
<b>Precio Local:</b>	\$160.00
<b>Precio en Dólares (EEUU):</b>	16.05USD



Figura 18. Brillo labial.

**Bálsamo para manos**

<b>Empresa:</b>	Upper Canada Soap & Candle Makers
<b>Marca:</b>	Naturally Upper Canada Pressed Olive Avocado
<b>Categoría:</b>	Cosmética
<b>Sub-categoría:</b>	Cuidado de las Manos/Uñas
<b>País:</b>	México
<b>Fecha de Publicación:</b>	Ago 2008
<b>Tipo de Lanzamiento:</b>	Nuevo Producto
<b>Precio Local:</b>	\$155.00
<b>Precio en Dólares (EEUU):</b>	14.75USD



Figura 19. Bálsamo para hidratación de manos



**Antitranspirante**

**Empresa:** Beiersdorf  
**Marca:** Nivea Deodorant  
 for Men Sport  
**Categoría:** Desodorantes  
**Sub-categoría:** Desodorantes  
**País:** México  
**Fecha de Publicación:** Jul 2008  
**Tipo de Lanzamiento:** Nuevo  
 Producto  
**Precio Local:** \$42.90  
**Precio en Dólares (EEUU):** 3.94USD



Figura 20. Antitranspirante para hombres.

**Antitranspirante**

**Empresa:** Beiersdorf  
**Marca:** Nivea Deodorant  
 Double Effect  
**Categoría:** Desodorantes  
**Sub-categoría:** Desodorantes  
**País:** México  
**Fecha de Publicación:** Jul 2008  
**Tipo de Lanzamiento:** Nuevo  
 Producto  
**Precio Local:** \$44.30  
**Precio en Dólares (EEUU):** 4.29USD



Figura 21. Antitranspirante para mujer.

**Mascarilla para el cabello Nutri-****Express**

<b>Empresa:</b>	L'Oréal
<b>Marca:</b>	Garnier Fructis Oil Repair
<b>Categoría:</b>	Cosmética Capilar
<b>Sub-categoría:</b>	Tratamientos Capilares
<b>País:</b>	México
<b>Fecha de Publicación:</b>	May 2008
<b>Tipo de Lanzamiento:</b>	Nueva Variedad/Ampliación de la Gama
<b>Precio Local:</b>	\$34.90
<b>Precio en Dólares (EEUU):</b>	3.33USD



Figura 22. Mascarilla para el cabello.

**Tinte para cabello**

<b>Empresa:</b>	Cosbel
<b>Marca:</b>	Garnier Nutrisse
<b>Categoría:</b>	Cosmética Capilar
<b>Sub-categoría:</b>	Tintes para el Cabello
<b>País:</b>	México
<b>Fecha de Publicación:</b>	Oct 2007
<b>Tipo de Lanzamiento:</b>	Nueva Fórmula
<b>Precio Local:</b>	\$49.90
<b>Precio en Dólares (EEUU):</b>	4.61USD

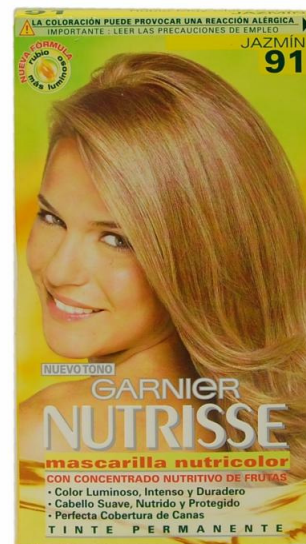


Figura 23. Tinte para el cabello.

**Protector de labios SPF 15**

<b>Empresa:</b>	Laboratorios Antei
<b>Marca:</b>	Lips Pocket
<b>Categoría:</b>	Cosmética
<b>Sub-categoría:</b>	Cuidado de los Labios
<b>País:</b>	México
<b>Fecha de Publicación:</b>	Jun 2007
<b>Tipo de Lanzamiento:</b>	Nueva Variedad/Ampliación de la Gama
<b>Precio Local:</b>	\$23.60
<b>Precio en Dólares (EEUU):</b>	2.19USD



Figura 24. Protector de labios.

**Shampoo**

<b>Empresa:</b>	Colgate-Palmolive
<b>Marca:</b>	Palmolive Caprice Naturals
<b>Categoría:</b>	Cosmética Capilar
<b>Sub-categoría:</b>	Champús
<b>País:</b>	México
<b>Fecha de Publicación:</b>	Jun 2007
<b>Tipo de Lanzamiento:</b>	Nuevo Envase
<b>Precio Local:</b>	\$22.85
<b>Precio en Dólares (EEUU):</b>	2.13USD



Figura 25. Shampoo para cabello.

**Acondicionador fortificante**

**Empresa:** Cosbel  
**Marca:** Garnier Fructis Oil Repair  
**Categoría:** Cosmética Capilar  
**Sub-categoría:** Acondicionadores  
**País:** México  
**Fecha de Publicación:** May 2007  
**Tipo de Lanzamiento:** Nueva Fórmula  
**Precio Local:** \$30.00  
**Precio en Dólares (EEUU):** 2.75USD



Figura 26. Acondicionador para cabello

**Abrillantador de seda para cabello**

**Empresa:** Schwarzkopf & Henkel  
**Marca:** Smooth 'N Shine Polishing  
**Categoría:** Cosmética Capilar  
**Sub-categoría:** Productos para Estilizar el Cabello  
**País:** México  
**Fecha de Publicación:** Mar 2007  
**Tipo de Lanzamiento:** Nueva Variedad/Ampliación de la Gama  
**Precio Local:** \$55.50  
**Precio en Dólares (EEUU):** 4.96USD



Figura 27. Abrillantador de seda para cabello.

**Mascara para pestañas**

**Empresa:** Probelco  
**Marca:** Zan Zusi  
**Categoría:** Cosméticos de Color  
**Sub-categoría:** Cosméticos de Color para Ojos - Pestañas  
**País:** México  
**Fecha de Publicación:** Ago 2006  
**Tipo de Lanzamiento:** Nuevo Producto  
**Precio Local:** \$49.90  
**Precio en Dólares (EEUU):** 4.54USD



Figura 28. Mascara para pestañas.

**Jabón de aguacate**

**Empresa:** Laboratorios Grisi  
**Marca:** Grisi  
**Categoría:** Jabón y Productos de Baño  
**Sub-categoría:** Jabón en Barra  
**País:** México  
**Fecha de Publicación:** Feb 2002  
**Tipo de Lanzamiento:** Nuevo Producto  
**Precio Local:** \$8.90  
**Precio en Dólares (EEUU):** 1.07USD



Figura 29. Jabón corporal en barra.

No existen muchos aceites de aguacate en el mercado que se vendan como aceite vegetal y la mayoría de ellos se venden de manera más exclusiva en tiendas departamentales o de mayoreo. Cuando se trata de la venta de aceite de aguacate comestible, los fabricantes destacan las propiedades nutrimentales que éste ofrece como la cantidad de vitaminas que contiene, el bajo contenido de grasas saturadas, su punto de humo (el cual permite su estabilidad durante el freído), la viscosidad (al tener una mayor viscosidad que otros aceites vegetales, la palatabilidad como aderezo en alimentos es mejor), así como el bajo o nulo contenido de ácidos grasos trans y el alto contenido en ácidos grasos monoinsaturados que aportan un beneficio a la salud cardiovascular.

Estos aceites de pulpa de aguacate son considerados “extra vírgenes” ya que su proceso de extracción es físico a una temperatura de 45°C, por lo que se designa como extracción en frío; esta clasificación de aceite no involucra procesos químicos y no se aplica refinación alguna.

Por otro lado, la comercialización del aceite de aguacate como ingrediente se encuentra principalmente en productos del área cosmética y los principales beneficios que destacan son tres: aporte de vitaminas (A, D y E principalmente), humectante (por su fácil absorción y textura) y como abrillantador en productos para el cabello principalmente.

No tiene muchos años que el aceite de aguacate impuso moda entre los ingredientes cosméticos, sin embargo el público general ha tenido muy buena aceptación con este tipo de productos ya que proyectan una imagen de “productos naturales” siendo una buena alternativa al mercado actual de productos enteramente “químicos”.

Todo anterior nos da un panorama más completo de cómo el mercado nacional emplea a este fruto como un ingrediente y que además es posible explotar de diversas maneras las propiedades que confiere.

## 8.- CONCLUSIONES

- El tiempo de secado más adecuado para fuentes de aguacate fue de 5 horas para el aguacate sobre-madurado y de 6 horas para el aguacate en estado óptimo de maduración, ambos a 60 °C.
- El tiempo de agitación más conveniente para extraer la mayor cantidad de aceite mediante el método de extracción en frío por lotes fue a las 24 horas aproximadamente.
- En condiciones similares de extracción, se obtiene un 3% (BH) más de aceite de aguacate en estado óptimo de maduración con respecto al sobre-madurado.
- El aceite de aguacate sobre-madurado resultó ser muy similar en aspectos fisicoquímicos, al aceite extraído de aguacate en óptimo estado de maduración.
- Ambos aceites se encontraron en la fase de iniciación del deterioro oxidativo por lo que el aceite de aguacate sobre-madurado no presentó degradación significativa debido a la maduración propia del fruto.
- El aceite de aguacate sobre-madurado presentó mayor contenido de ácido oléico y menor contenido de palmítico que el aceite de aguacate en estado óptimo de maduración.
- En comparación con el aceite de oliva, el aceite de aguacate presenta similar contenido de ácido oléico pero menor cantidad de ácido linoléico, lo que lo hace más estable al deterioro oxidativo y reduce su degradación cuando es sometido a altas temperaturas.

- En base a todo lo anterior, el aceite extraído de aguacates con sobre-maduración representa una alternativa de aprovechamiento de materia prima que es considerada como desecho en centros de distribución masiva en nuestro país, como las centrales de abasto.
- Los costos finales de producción pueden verse abatidos debido a la considerable disminución en el costo de materia prima.
- La extracción de aceite a partir del fruto sobre-madurado representa una alternativa de aprovechamiento de desecho que posee características muy similares en calidad y composición química con respecto a un aceite obtenido de aguacate en óptimo estado de maduración.
- En el mercado actual, el aceite de aguacate es empleado, en mayor medida, como ingrediente para la industria cosmética, siendo poco su consumo como aceite vegetal comestible.



## 9.- RECOMENDACIONES

En composición, el aceite de aguacate sobre-madurado resultó ser muy similar al aceite de aguacate en óptimo estado de maduración, sin embargo se deben de tener en cuenta que las magulladuras de los frutos frescos aceleran la actividad de las lipasas presentes, y por consecuencia, la degradación de las grasas. Por esta razón la materia prima seleccionada, a pesar de tener la característica de sobre-maduración, debe encontrarse en el mejor estado posible para evitar lo anterior y seguir los estándares que marca la norma mexicana para su clasificación (Clase II).

Para poder definir de una manera más adecuada la ventaja económica que representa el aprovechamiento del fruto sobre-madurado considerado como de desecho, podrían simularse los costos que representan desde la materia prima aprovechada (a diferencia del costo que implica adquirir la materia prima en óptimo estado con productores primarios), los costos de proceso involucrados, como son: ahorro de energía empleada durante la extracción, rendimientos totales de aceite obtenido, consideraciones de equipos empleados para la extracción, entre otros. Lo anterior podría representar una mejora en el precio de venta final del producto ya sea para venta como ingrediente para industrias como farmacéuticas, cosméticas y nutracéuticas, o simplemente para adquisición directa como aceite vegetal comestible.

Asimismo, sería interesante conocer las muchas ventajas y aplicaciones que representa la adición de aceite de aguacate como ingrediente en productos de uso cotidiano ya que este fruto representa un ingreso interno bruto considerable en nuestro país, tanto para consumo nacional, como para exportaciones.

**10.-BIBLIOGRAFÍA**

1. Bernardini, E. Tecnología de aceites y grasas. Ed. Alhambra. Madrid, España 1981, pp. 130-149.
2. Buenrostro M. Proceso enzimático para la extracción de aceite de aguacate. Tesis: Licenciatura, UNAM, FQ. México, D.F. 1986, p.55.
3. FAO/OMS. Compendio de Grasas y aceites. Página electrónica: [www.fao.org/docrep/v4700s/v4700s00.htm](http://www.fao.org/docrep/v4700s/v4700s00.htm) (Consulta: Feb/08)
4. Formo, M., Jungermann, E., Norris, F., Sonntag, N., Bailey's Industrial Oil and Fat Products. 4a edición. Nueva York 1979,pp. 1-98.
5. Itoh, T., Tamura, T., Matsumoto, T. Sterol composition of 19 vegetable oils. Journal of American Oil Chemists' Society. Vol. 50: 122-125, 1973.
6. Iturbe, F. Recopilación bibliográfica, Análisis de Alimentos (Grasas y Aceites). Semestre 2007-II. Facultad de Química, UNAM.
7. Kirk, Sayer, Egan. Composición y análisis de alimentos de Pearson. Ed. Compañía Editorial Continental, 7ª Reimpresión. México, D.F. 2005, p. 671, 679, 680.
8. Lawson, H. Aceites y grasas alimentarios. Tecnología, utilización y nutrición. Ed. Acribia, S.A. Zaragoza, España 1994, pp. 13,72.
9. Mintel. Global New Products Database. Consulta: Marzo 2009.
10. NMX-FF-016-SCFI-2006. Productos Alimenticios no industrializados para uso humano.- Aguacate (Persea americana Miller).
11. Olaeta, J. A. Industrialización del aguacate: Estado actual y perspectivas futuras. Actas V Congreso Mundial del Aguacate, 2003. pp.750.

12. Piñón, R. Estudio económico preliminar de una planta de aceite de aguacate. Tesis:Licenciatura, UNAM, FQ. México, D.F. pág. 7, 8, 10, 15, 16. 1997.
13. Qureshi, A.A., et, al. Lowering of serum cholesterol in hypercholesterolemic humans by tocotrienols (palmvitee). American Journal of Clinical Nutrition. 53: 1021S-1026S, 1991.
14. Rogers, E.J., et, al. Identification and quantitation of  $\gamma$ -oryzanol components and simultaneous assessments of tocols in rice bran oil. Journal of American Oil Chemists' Society. 70: 301-307, 1993.
15. Salazar, H., y González R. "Guía de inocuidad alimentaria y sus implicaciones para la producción y distribución del aguacate "Hass" mexicano". Revista Chapingo, serie Horticultuta 5 Núm. Especial: 379 -391. 1999.
16. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), SAGARPA. Anuario estadístico de la producción, 2007.
17. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), SAGARPA. Márgenes de comercialización de Aguacate Hass, 2001-Junio 2008.
18. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), SAGARPA. Series Históricas de producción 1999-2007.
19. Yahia, E. 2003. Manejo postcosecha del aguacate. 2ª Parte. Boletín informativo de APROAM El Aguacatero, Año 6, Número 32, Mayo de 2003.

20. [www.ams.usda.gov/standards/avocado.pdf](http://www.ams.usda.gov/standards/avocado.pdf) Agricultural Marketing Service, United States Department of Agriculture. (Consulta: Abril/08)
21. [www.avocadosource.com/Journals/CICTAMEX/CICTAMEX\\_1998-001/CICTAMEX\\_1998-2001\\_PG\\_171-187.pdf](http://www.avocadosource.com/Journals/CICTAMEX/CICTAMEX_1998-001/CICTAMEX_1998-2001_PG_171-187.pdf) (Consulta: Marzo/08)
22. [www.botanical-online.com/aguacate.htm](http://www.botanical-online.com/aguacate.htm) (Consulta: Marzo/08)
23. [www.campomexicano.gob.mx/portal\\_sispro/index.php?portal=aguacate](http://www.campomexicano.gob.mx/portal_sispro/index.php?portal=aguacate). SA GARPA(Consulta: Feb/09)
24. [www.codexalimentarius.net/download/standards/321/CXS197s.pdf](http://www.codexalimentarius.net/download/standards/321/CXS197s.pdf) (Consulta: Marzo 08)
25. [www.cofepris.gob.mx/RevistaRED/portada2007mjunio/num10\\_art\\_1.htm](http://www.cofepris.gob.mx/RevistaRED/portada2007mjunio/num10_art_1.htm) Comunicado de COFEPRIS, 2007.
26. [www.infoagro.com/frutas/frutas\\_tropicales/aguacate.htm](http://www.infoagro.com/frutas/frutas_tropicales/aguacate.htm)
27. [www.sagarpa.gob.mx/cgcs/boletines/2006/agosto/B197.htm](http://www.sagarpa.gob.mx/cgcs/boletines/2006/agosto/B197.htm) (Consulta: Marzo/08)
28. [www.sagarpa.gob.mx/cgcs/boletines/2007/febrero/B035.htm](http://www.sagarpa.gob.mx/cgcs/boletines/2007/febrero/B035.htm) (Consulta: Marzo/08)
29. [www.sagarpa.gob.mx/agricultura/info/comp/it/normas/nmx/NMX\\_AGUACAT E.pdf](http://www.sagarpa.gob.mx/agricultura/info/comp/it/normas/nmx/NMX_AGUACAT_E.pdf)
30. [www.unece.org/trade/agr/standard/fresh/fresh\\_e/42avocad.pdf](http://www.unece.org/trade/agr/standard/fresh/fresh_e/42avocad.pdf) (Consulta: Marzo 08)

## APÉNDICE A

Material, procedimiento y cálculos empleados para los análisis fisicoquímicos realizados a los aceites extraídos de pulpa de aguacate tipo Hass.

### A. Determinación de humedad (Basado en 22.013 AOAC, 1984)

Material:

- Aguacate variedad Hass
- Charolas de metal (para horno)
- Estufa de secado
- Balanza granataria
- Machacador
- Espátula de metal
- Papel aluminio
- Termobalanza

Procedimiento:

- Se pesó la cantidad de aguacate deseada en la balanza granataria y se colocó en una charola de metal, se machacó y homogenizó el aguacate hasta obtener una pasta, y se distribuyó de tal manera que quede una capa fina de no más de 1 cm. de espesor para permitir que el secado fuera lo más homogéneo posible.
- Se introdujo la charola a la estufa previamente calentada a 60°C y se monitoreó la pérdida de peso por evaporación del agua cada hora hasta la obtención de pérdida de peso deseada (en este caso hasta que el porcentaje de humedad en el aguacate descendiera a niveles entre 8 y 10%).

- Cada vez que se sacó la charola para registrar los pesos, se homogenizó nuevamente la capa para asegurar el secado en toda la materia prima y no solamente en la superficie.
- Se dejó enfriar a temperatura ambiente la charola que fue sometida al secado antes mencionado y se procedió a retirar la materia seca con una espátula de metal, una vez retirado, se colocó en papel aluminio y se procedió con la pesada del mismo.
- Se realizó el cálculo correspondiente y se determinó la cantidad de agua perdida y la cantidad de agua residual en el aguacate.

Cálculos:

$$\%Humedadperdida = \left(100 - \frac{\text{Pesodelaguacateseco}}{\text{Pesoinicialdelaguacate}}\right) \times 100$$

Posteriormente, para calcular el porcentaje de humedad de la materia secada (el cual oscilaría entre 8-10% para realizar una adecuada extracción de aceite) primero se tuvo que obtener el promedio de la cantidad total de humedad en la materia prima tanto del aguacate en condiciones óptimas de maduración como el del sobre-madurado.

El procedimiento fue colocar 10 g de aguacate macerado y distribuirlos homogéneamente en la charola de la termobalanza durante 15 min a 100°C.

Cálculos:

$$\%Humedad \text{ (materia secada)} = \% \text{ humedad total (promedio)} - \% \text{ humedad perdida}$$

## B. Extracción por disolvente (hexano) en frío

### Material:

- 2 Matraces Erlenmeyer de 1 L
- Agitador de vidrio
- Papel aluminio
- Incubadora con agitación de hasta 800 rpm
- Hexanos RA

### Procedimiento:

- Se pesó la misma cantidad de aguacate seco en cada matraz (250-300 g). Se colocaron dentro de los matraces y se agregaron 300mL de hexano.
- Se colocaron los matraces dentro del agitador y se agitó vigorosamente durante 10 minutos a 200 rpm y asegurando que se encontrara adecuadamente tapado con tapón de hule o aluminio para evitar pérdidas de disolvente por evaporación.
- Pasado el tiempo de agitación, se separó la mezcla de hexano-aceite del residuo sólido desengrasado mediante filtrado rápido y se colocó en un recipiente de vidrio.
- Se volvió a realizar el mismo procedimiento desde la adición de otros 300mL de disolvente dos veces más para hacer un total de 900mL de hexano añadido. Para asegurar que se extrajo todo el aceite posible, se colocó 1 gota de la última fracción extraída sobre un papel filtro limpio y se observó que no dejara rastro de aceite alguno.

### C. Extracción por disolvente (hexano) en frío

Material:

- Rotavapor con entrada a vacío
- 2 Matraces de bola de 250mL
- Pinzas sujetadoras
- Recipientes de plástico color ámbar para colocar el aceite

Procedimiento:

- Se montó un equipo de destilación en el rotavapor, con el que se recuperó el hexano empleado para la extracción. Se realizó a 40-45 °C con vacío.
- Se estableció el tiempo de destilación, cerciorándose que se hubo eliminado el hexano del aceite (no debe quedar olor característico del disolvente).
- El aceite obtenido se colocó en un recipiente de plástico ámbar previamente pesado.

### D. Determinación de lípidos

#### **Determinación gravimétrica**

A partir de la cantidad de aceite obtenida en las extracciones, se realizó el cálculo en base al contenido de humedad de la materia prima.

Cálculos:

$$\%Lípidos(BS) = \frac{\text{Pesodelaceiteobtenido} \times 100}{\text{Pesoaguacateseco}} \quad \%Lípidos(BH) = \frac{\text{Pesodelaceiteobtenido} \times 100}{\text{Peso inicialde aguacate}}$$

#### **Determinación de lípidos por Soxhlet (AOAC 31.4.02,2000)**

Procedimiento:

- Se colocó a peso constante un matraz bola de fondo plano con perlas o piedras de ebullición en la estufa a 100°C, aproximadamente 2 hrs.



- Se pesó de 4 a 5 g de muestra sobre un papel, se enrolló y se colocó en un cartucho de celulosa, el cual se tapó con un algodón sin apretar el algodón contra la muestra y se colocó el cartucho en el extractor.
- Posteriormente, se conectó el matraz al extractor, en el que se encontraba el cartucho con la muestra y se conectó éste al refrigerante (no se puso grasa en las juntas).
- Se agregó dos cargas del disolvente (éter etílico) por el refrigerante y se calentó el matraz con parrilla a ebullición suave.
- Para verificar que se había extraído toda la grasa, se dejó caer una gota de la descarga sobre papel filtro, al evaporarse el disolvente no debió dejar residuo de grasa.
- Una vez extraída toda la grasa, se quitó el cartucho con la muestra desengrasada, y se siguió calentando hasta la casi total eliminación del disolvente, recuperándolo antes de que se descargara.
- Se retiró el matraz y se secó el extracto en la estufa a 100°C por 30 min., se enfrió y se pesó.

Cálculos:

$$\%Lípido(BS) = \frac{\text{Pesodelmatrazconaceiteobtenido} - \text{Pesodelmatrazsinaceitex} 100}{\text{Pesoaguacats seco}}$$

$$\%Lípido(BH) = \frac{\text{Pesodelmatrazconaceiteobtenido} - \text{Pesodelmatrazsinaceitex} 100}{\text{Pesoaguacatesinsecar}}$$

### E. Análisis fisicoquímicos

Las pruebas de densidad relativa, índice de yodo, índice de saponificación y materia insaponificable se realizaron por triplicado obteniendo el promedio de los resultados. Para la determinación del punto de humo, sólo se realizó una medición debido a la gran cantidad de aceite necesaria. El índice de refracción también se determinó una sola vez debido a precisión del equipo.

#### **Densidad relativa** (Basado en AOCS Method Cc 10a-25)

Material:

- Picnómetro con termómetro
- Balanza analítica
- Muestra de aceite

Procedimiento:

- Se pesa el picnómetro con el termómetro y se registra el peso.
- Se llena el picnómetro con el aceite a determinar y se mide la temperatura de análisis la cual debe estar entre 20 y 25 °C.
- Se tapa y se seca lo que pudo derramarse.
- Se vuelve a pesar en la balanza y se registra, se hacen los cálculos correspondientes.

Cálculos:

$$\text{Densidad relativa}(20^{\circ}\text{C}/\text{agua}20^{\circ}\text{C}) = \frac{\text{Pesodelpicnómetroconaceite} - \text{Pesodelpicnómetrovacío}}{\text{Pesodelpicnómetroconaguadestilada} - \text{Pesodelpicnómetrovacío}}$$

**Índice de refracción** (Basado en AOCS Method Cc 7-25)

Material:

- Refractómetro
- Muestra de aceite

Procedimiento:

- Se coloca la muestra en los prismas del refractómetro de campo, adecuadamente calibrado.
- Se cierra la tapa, suavemente. La muestra cubrió completamente la superficie del prisma.
- Se miró a través de la mirilla.
- Se leyó la escala, en la inserción de los campos. En caso de no ser clara, se ajustó con los objetivos.
- Por último se retira con papel suave la muestra.

**Valor de yodo** (Basado en AOCS Method Cd 1d-92)

Material:

- Vaso de precipitados 100 mL
- Agitador de vidrio
- Balanza analítica
- Matraz 250 mL con tapón
- Pipeta graduada 10 mL
- Pinzas para buerta
- Bureta

Preparación de reactivos:

Solución de Wijs:

- Se disolvieron 8 g de tricloruro de yodo en 200 mL de ácido acético glacial.
- Por otro lado se disolvió 9 g de yodo en 300 mL de tetracloruro de carbono.
- Se mezclaron ambas soluciones y se diluyeron a 1 L con ácido acético glacial.

Procedimiento:

- Se vacía el aceite en matraz para yodo con tapón de vidrio de aproximadamente 250 mL de capacidad.
- El peso aproximado en gramos del aceite que se va a utilizar se calcula dividiendo la cifra de 20 entre el valor de yodo más alto que se espera obtener.
- Se agregan 10 mL de tetracloruro de carbono al aceite y se disuelven. Se agregan 20 mL de solución de Wijs, se inserta la tapa (previamente humectada con una solución de yoduro de potasio) y se deja reposar a oscuras durante 30 minutos.
- Se agregan 15 mL de solución de yoduro de potasio (al 10%) y 100 mL de agua, se mezclan y se titula con solución de tiosulfato de sodio 0.1 M empleando almidón como indicador, justo antes del punto final (A).
- Se analiza un testigo de muestra simultánea comenzando con 10 mL de tetracloruro de carbono (B).

Cálculo:

$$\text{Valor de yodo} = \frac{(B - A) \times N \times 12.69}{\text{Peso de la muestra en gramos}}$$

## Índice de saponificación (Basado en AOCS Methods Ca 6a-40)

### Material

- Refrigerante
- Parrilla de calentamiento
- Matraz de bola
- Probeta 100 mL
- Bureta
- Pinzas para bureta
- Matraz Erlenmeyer de 250 mL

### Procedimiento:

- Se montó un equipo de reflujo en la campana, se colocó en el matraz bola con boca esmerilada 2 g de lípidos y adicionar 25 mL de solución alcohólica de KOH (0.5 M en etanol al 95%).
- Se llevó a ebullición suave y se mantuvo durante 1 hr. Adicionar 1 mL de solución de fenolftaleína (0.1%).
- Se tituló en caliente el exceso de álcali con ácido clorhídrico 0.5 N
- Se calculó el índice de saponificación (mg KOH necesarios para saponificar los ácidos grasos totales de un gramo de muestra).

### Cálculos:

$$\text{Índice de saponificación} = \frac{(\text{mL blanco} - \text{mL muestra}) \times N (\text{HCl}) \times 56.1 (\text{eq KOH})}{\text{Peso de la muestra (g)}}$$

**Materia insaponificable** (Basado en AOCS Method Ca 6a-40)

Material y equipo:

- Embudo de separación
- Probeta 100 mL
- 3 Matraces Erlenmeyer de 250 mL
- Embudo de filtración
- Estufa de secado
- Equipo de destilación (Rotavapor)
- Balanza analítica

Procedimiento:

- Se transfirió el líquido titulado del índice de saponificación a un embudo de separación, usando 50 mL de agua para lavar el matraz.
- Se extrajo la solución con 50 mL de éter etílico, tres veces, juntar los extractos etéreos.
- Se lavó dos veces con 20 mL de agua en un embudo de separación los extractos etéreos.
- Se deshidrató el extracto etéreo pasándolo por un filtro con sulfato de sodio anhidro.
- Se recuperó el extracto etéreo en un matraz parado y evaporar el disolvente a presión reducida, hasta sequedad, utilizando un rotavapor.
- Se colocó el matraz en una estufa de secado a 70°C, hasta llegar a peso constante.
- Se cuantificó el material insaponificable por gramo de muestra.

Cálculos:

$$M_{insaponificable} = \frac{\text{Peso del matraz con m. insaponificable} - \text{Peso del matraz vacío}}{\text{Peso muestra de aceite del índice de saponificación}}$$

## F. Ácidos grasos por Cromatografía de gases (Basado en AOCS Method Cd 1-62)

Material y equipo:

- Balanza analítica
- Pipeta 5 mL y de 1 mL
- 6 tubos con tapón de rosca
- Equipo de Baño maría
- Agitador vórtex
- Pipeta Pasteur
- Cromatógrafo de gases Perkin-Elmer → Columna Omegawax 250 sílica.

Procedimiento:

Nota: Todo el material de vidrio empleado: pipetas y tubos debieron seguir el siguiente tratamiento previo a su uso para evitar ruidos en el cromatograma que pudieran dificultar la lectura del mismo:

- Lavado con detergente
  - Enjuague con agua destilada
  - Enjuague con acetona
  - Enjuague con metanol
  - Enjuague con hexano
  - Enjuague con acetona
  - Secado
- Se pesaron 50mg de aceite y se agregaron 5mL de NaOH 0.5M en etanol.
  - Se llevó a ebullición por reflujo durante 25 minutos.
  - Posteriormente se dejó enfriar, se destapó y se agregaron 0.6mL de HCl 6 N en

metanol, se agitó bien y se agregó 0.5mL de trifloruro de boro al 10% (Sigma) como catalizador.

- Nuevamente se dejó hervir a baño maría durante 25 minutos.
- Se dejó enfriar, se destapó y se extrajeron los ésteres añadiendo 3mL de hexano grado HPLC + 3mL de solución saturada de NaCl en agua.
- Se agitó perfectamente en vórtex durante 1 minuto.
- Se separó la fase orgánica del hexano utilizando pipeta Pasteur.
- Estas extracciones se realizaron por triplicado.
- En otro tubo se juntan los extractos, de requerirse, se deshidrató con sulfato de sodio anhidro.
- Se evaporó el hexano en un baño a 50°C y se liberó N<sub>2</sub> sobre la superficie sin tocar la muestra para acelerar la evaporación del disolvente y evitar su oxidación.
- Se añadieron 100 µL a la muestra seca y se inyectó al cromatógrafo sólo 2 µL.
- Se obtuvo el cromatograma y se realizó la interpretación correspondiente. Esto se debió hacer por triplicado por cada muestra de aceite.

#### G. Degradación del aceite

##### **Índice de peróxidos** (Basado en AOCS Method Cd 8-53)

Material y equipo:

- 2 Matraces Erlenmeyer de 250 mL
- Probeta 100 mL
- Pipeta 1 mL



- Cronómetro
- Bureta
- Pinzas para bureta
- Balanza analítica

Procedimiento:

- Se pesó  $2.5 \pm 0.1$  g de aceite o grasa en un matraz Erlenmeyer de 250 mL y se adicionó 25 mL de una solución de ácido acético/diclorometano (3:2), disolviéndolo perfectamente.
- Se adicionó 0.5 mL de una solución saturada de yoduro de potasio y se dejó reposar en la oscuridad durante 60 segundos, medidos con cronómetro.
- Se añadió 75 mL de agua desionizada hervida y fría, y se tituló lentamente con tiosulfato de sodio 0.1 N.
- Si se gastaban menos de 3 mL, se tuvo que diluir el titulante a 0.01 N. Se agitó vigorosamente durante la titulación hasta obtener un color amarillo pálido.
- Se adicionaron 0.5 mL de solución de almidón indicador (almidón soluble al 1% en agua) y se continuó la titulación hasta la desaparición del color azul por 30 seg.
- El índice de peróxidos se obtuvo calculando los miliequivalentes de tiosulfato utilizados en la titulación por kilogramo de muestra.

Cálculos:

$$meq \text{ _ peróxidos } ./ kg = \frac{\text{mL gastados tiocianato}}{\text{peso muestra (g)}} \times \frac{\text{meq tiocianato}}{\text{mL}} \times \frac{\text{meq peróxidos}}{\text{meq tiocianato}} \times \frac{1000\text{g}}{1 \text{ kg}}$$

**Índice de Kreis** (Basado en BS 684: sección 2.32)

Material y equipo:

- Pipeta graduada de 10 mL
- Pipeta graduada de 1 mL
- Parrilla de calentamiento
- 2 Vasos de precipitados 250 mL
- 2 Tubos de ensaye 20 mL
- Espectrofotómetro

Procedimiento:

- Se disolvió de 50 a 500 mg de grasa en 5 mL de diclorometano.
- Se añadió 10 mL de una solución de ácido tricloroacético al 30% en ácido acético glacial y 1 mL de floroglucinol al 1% en ácido acético.
- Se agitó e incubó por 15 min, en un baño maría a 45°C, dejar enfriar y se agregó 4 mL de etanol.
- Se midió la absorbancia de la muestra a 540 nm frente a un blanco de reactivos.

Cálculos:

$$\text{Índice de Kreis} = \frac{\text{Abs}_{540 \text{ nm}}}{\text{peso muestra (g)}}$$

**Acidez titulable** (Basado en AOCS Method Cd 3d-63)

Material y equipo

- 2 Matraces Erlenmeyer 250 mL
- Probeta 100 mL

- Parrilla de calentamiento
- Olla de metal (para contener el matraz de 250 mL)
- Bureta
- Pinzas para bureta

Procedimiento:

- En un matraz Erlenmeyer de 250 mL, se colocaron 0.5 g de lípidos.
- Se adicionó 25 mL de alcohol previamente neutralizado (utilizando fenolftaleína 0.1% como indicador).
- Se calentó en un baño de agua en ebullición suave.
- Se tituló en caliente con KOH 0.0025 N, agitando fuertemente después de cada adición de álcali.

Cálculos:

$$\text{Acidez (\% acidooléico)} = \frac{(\text{mL gastados}) \times (N_{\text{KOH}}) \times 0.282 \times 100}{\text{peso muestra (g)}}$$

Donde: 282 g/mol (PM ác. oléico), por lo tanto 0.282 son meq ác oléico.