



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**  
**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN**

**PROPUESTA TECNOLÓGICA PARA EL APROVECHAMIENTO INTEGRAL  
DEL AGUACATE (*Persea Americana*).**

**TESIS**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
INGENIERA EN ALIMENTOS**

**PRESENTA:**

**MERCEDES MONTSERRAT ESTRADA ZAPATA**

**Asesor: Dra. María Andrea Trejo Márquez**

**CUAUTITLÁN IZCALLI, ESTADO DE MÉXICO, 2009.**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**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.



FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN  
 UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR  
 DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES

CUAUTITLAN, MEXICO, D.F.  
 A 29 DE JULIO DE 2009

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN



DRA. SUEMI RODRIGUEZ ROMO  
 DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLAN  
 PRESENTE

ATN: L. A. ARACELI HERRERA HERNANDEZ  
 Jefe del Departamento de Exámenes  
 Profesionales de la FES Cuautitlán

Con base en el art. 26 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la Tesis:

Propuesta tecnológica para el aprovechamiento integral del aguacate  
(Persea Americana)

que presenta la pasante: Mercedes Montserrat Estrada Zapata  
 con número de cuenta: 404009564 para obtener el título de :  
Ingeniera en Alimentos

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

ATENTAMENTE

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 29 de JULIO de 2009

PRESIDENTE	<u>LE. Jorge Bello Domínguez</u>	
VOCAL	<u>MC. Carolina Moreno Ramos</u>	
SECRETARIO	<u>Dra. María Andrea Trejo Márquez</u>	
PRIMER SUPLENTE	<u>Dra. María Eugenia Ramírez Ortiz</u>	
SEGUNDO SUPLENTE	<u>IA. Zaira Berenice Guadarrama Alvarez</u>	

## **AGRADECIMIENTOS**

A mis padres Miguel Estrada y Raquel Zapata, por brindarme su apoyo y confianza durante mi carrera profesional, por su ayuda y tiempo invertido para la realización de este proyecto. También a mi hermano por su tiempo de espera al acompañarme a mis revisiones.

A mi asesora de tesis la Doctora Andrea Trejo por su tiempo y dedicación para la realización de ésta y por el apoyo para lograr mi titulación, gracias por su asesoría y su enseñanza.

A todos mis sinodales por el interés al leer mi trabajo y el tiempo invertido en el mismo.

A mis profesores por compartir su conocimiento, en especial al profesor Saturnino Maya por su apoyo durante los laboratorios y al Ingeniero Fernando Maya Servín por apoyarme en la realización de mi servicio social.

A mis amigos por hacer más liviana la estancia en la universidad.



## ÍNDICE

### PÁGINA

I. Introducción	1
II. Objetivos	4
III. Metodología	5
IV. Importancia Económica	6
1. Historia	6
2. El aguacate en el mercado mexicano	7
3. El aguacate en el mercado internacional	8
3.1. Exportaciones	9
3.2. Importaciones	12
3.3. Comercio del aguacate	13
V. Aspectos taxonómicos, bioquímicos y fisiológicos del aguacate	14
1. Taxonomía y distribución geográfica	14
1.1 Familia	15
1.2 Género	15
2. Descripción botánica	16
2.1. Variedades	17
2.1.1. Hass	20
2.1.2. Patrones	21
3. Prácticas culturales	22
4. Composición química y valor nutritivo	23
5. Pérdidas precosecha en aguacate	23
5.1. Plagas	23
5.2. Enfermedades	24
5.2.1. Enfermedades causadas por microorganismos	24
5.2.2. Otras	25
5.2.3. Enfermedades causadas por carencias	26
6. Postcosecha	27
6.1. Cosecha	28
6.2. Índice de cosecha	28
6.3. Calidad	28



---

6.3.1 Temperatura óptima	30
6.3.2 Humedad relativa óptima	31
6.3.3 Tasa de respiración	31
6.3.4 Tasa de producción de etileno	31
6.3.5 Efectos del etileno	31
6.3.6 Efecto de las atmósferas controladas (AC)	31
7. Pérdidas postcosecha	32
7.1. Desórdenes fisiológicos.	32
7.1.1. Bioquímica de los desórdenes fisiológicos.	33
7.1.1.1. Enzima Polifenoloxidasa.	34
7.1.1.2. Enzima Peroxidasa.	34
7.2. Fisiología de postcosecha.	35
7.2.1. Patrón respiratorio y maduración.	36
8. Control de insectos	38
9. Pérdidas postcosecha: Daños mecánicos	38
VI. Estado del Arte Tecnológico	39
1. Tecnología para la conservación del aguacate	39
1.1. Cosecha	39
1.2. Operaciones básicas después de la cosecha	40
1.3. Transporte	42
1.3.1. Remolques refrigerados	43
1.4. Almacenamiento	44
1.4.1. Refrigeración	44
1.4.1.1. Enfriamiento en cámara refrigerada convencional	45
1.4.1.2. Enfriamiento por aire forzado	46
1.4.2. Atmósferas controladas.	47
1.5. Tratamientos postcosecha	48
1.5.1. Atmósferas modificadas	48
1.5.2. Tecnologías emergentes	49
1.5.2.1 Películas comestibles	49
1.5.2.2. Envoltura individual retráctil	49
1.5.3. Radiaciones ionizantes	50
1.5.3.1. Tratamiento cuarentenario	51
1.5.3.2. Maduración de aguacate	51
1.5.4. Aplicación de reguladores de crecimiento	52
1.6. Aguacate orgánico	54



2. Procesamiento	54
2.1. Operaciones generales	54
2.1.1. Recepción y Selección	55
2.1.2. Lavado	55
2.1.3. Pelado, deshuesado, rebanado o cortado	56
2.1.4. Pretratamiento	56
2.2. Productos mínimamente procesados	56
2.2.1. Derivados de frutos (purés, zumos o trozos) tratados por la Alta Presión Hidrostática-APH	57
2.2.1.1. Pasta de aguacate o Guacamole obtenido por alta presión hidrostática	57
2.2.1.1.1. Tratamiento con presión hidrostática	57
2.2.1.1.2. Inactivación Enzimática.	59
2.3. Productos congelados y térmicamente procesados	61
2.3.1. Puré o pulpa congelada	61
2.3.2. Fruta congelada	62
2.3.2.1. Congelación	63
2.3.3. Aceite	64
VII. Oportunidades Tecnológicas para el aprovechamientos del aguacate	66
1. Productos existentes en el mercado.	66
2. Propiedad intelectual	66
3. Identificación de oportunidades	67
3.1. Aprovechamiento integral del aguacate	69
3.1.1. Pulpa	69
3.1.1.1. Aceite	69
3.1.1.2. Congelados	72
3.1.1.3. Polvo	72
3.1.1.4. Harina	74
3.1.1.5. Pasta/ Guacamole	76
3.1.1.6. Sustituto de grasa	79
3.1.1.6.1. Margarina	81
3.1.1.7. Suplementos	82
3.1.1.7.1. Alimento animal	82
3.1.1.8. Medicamentos	83
3.1.1.9. Cosméticos	87
3.1.1.10. Extractos	90
3.1.2. Semilla	90
3.1.2.1. Aceite	91



---

3.1.2.2. Colorante	95
3.1.2.3. Medicamento	97
3.1.3. Cáscara	98
3.1.3.1. Sustitutos	98
3.1.3.2. Fertilizante orgánico	99
3.1.4. Hojas	99
3.1.4.1. Medicamentos	99
3.1.4.2. Extractos	99
3.2. Tecnologías emergentes	101
3.2.1. Deshidratación	101
3.2.1.1. Osmótica	101
3.2.1.2. Atómica	102
3.2.1.3. Microondas	103
3.2.2. Extracción de aceite	104
3.2.2.1. Enzimática	104
3.2.2.2. Fluidos supercríticos	105
3.2.2.3. Microondas	106
3.2.3. Tratamientos térmicos	106
3.2.3.1. Microondas	106
3.2.3.2. Tratamiento alcalino	108
3.3. Desarrollo de nuevas tecnologías	108
3.3.1. Control biológico	108
3.3.2. Aparatos para uso integral	109
3.4. Tecnologías para la mejora genética	110
3.4.1. Contenido en ácido ascórbico	110
3.4.2. Embriogénesis somática	110
3.4.3. Agricultura	111
VIII. Discusión	113
IX. Conclusiones	119
X. Referencias	122





## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>FIGURA</b>	<b>PÁGINA</b>
Fig. 1 Metodología	5
Fig. 2 Jeroglíficos de Ahuacatlan	6
Fig. 3 Posibles centros de origen de las tres razas de aguacate.	7
Fig. 4 Principales exportadores mundiales de aguacate 2005. (millones de aguacate)	10
Fig. 5 Exportaciones Mexicanas de aguacate 2005. (miles de dólares)	10
Fig. 6 Evolución de las exportaciones mexicanas (miles de dólares).	11
Fig. 7 Evolución de las exportaciones mexicanas (miles de toneladas).	11
Fig. 8 Principales importadores mundiales 2005. (millones de dólares).	12
Fig. 9 Otros importadores mundiales 2005. (millones de dólares).	12
Fig. 10 Frutos y follaje de P. Gratísima	15
Fig. 11 Persea indica	16
Fig. 12 Persea drymifolia o Aguacate criollo	18
Fig. 13 Principales variedades cultivadas en California (además del HASS)	19
Fig. 14 Algunas de las variedades existentes en el mundo	19
Fig. 15 Orden laurales.	20
Fig. 16 Aguacate variedad Hass	21
Fig. 17 Cambios en el desarrollo del producto	35
Fig. 18 Corte de aguacate con vara	40
Fig. 19 Cosecha mecanizada de aguacate	40
Fig. 20 Muestreo fitosanitario	40
Fig. 21 Aguacate muestreado	40
Fig. 22 Lavado de aguacate	41
Fig. 23 Cepillado de aguacate	41
Fig. 24 Primera selección del aguacate	41
Fig. 25 Aguacates en línea de clasificación	41
Fig. 26 Pallets dentro del cuarto refrigerado en la etapa de preenfriamiento	42
Fig. 27 Transporte del aguacate y acomodo de las cajas.	43
Fig. 28 Características de un transporte refrigerado	44
Fig. 29 Cuarto de enfriamiento para frutas y hortalizas	46
Fig. 30 Enfriador de aire forzado de pared fría	46
Fig. 31 Enfriador portátil de aire forzado	47
Fig. 32 Modelo de almacén de AC a pequeña escala	47
Fig. 33 La radiación gamma	50
Fig. 34 Efecto del 1-MCP en Aguacate Hass.	53
Fig.35 Operaciones generales para el procesamiento de aguacate,	55
Fig. 36 Tecnología de la bomba de alta presión (132)	60
Fig. 37 Límites tecnológicos en los equipos para procesamiento por alta presión	60



Fig. 38 Diagrama de proceso para obtención de pulpa	62
Fig. 39 Diagrama de proceso para productos congelados	63
Fig. 40 Diagrama de proceso para extracción de aceite por prensado en frío	65
Fig. 41 Mapa tecnológico de usos potenciales del aguacate	68
Fig. 42 Diagrama de proceso para aceite extra virgen de aguacate	70
Fig. 43 Diagrama de proceso para extracción enzimática de aceite de aguacate	71
Fig. 44 Diagrama de proceso de polvo de aguacate obtenido por liofilización	73
Fig. 45 Diagrama de proceso de aguacate en polvo por deshidratación por atomización	74
Fig. 46 Diagrama de proceso para obtención de harina estabilizada	75
Fig. 47 Diagrama de proceso para composición aditiva para conservar la pulpa de aguacate	77
Fig. 48 Diagrama de proceso de barra de guacamole	78
Fig. 49 Diagrama de proceso para la obtención de un extracto para alimento animal	83
Fig. 50 Diagrama de proceso para extracto de péptido de aguacate	85
Fig. 51 Diagrama de proceso para extraer material no saponificable a partir de aceite de aguacate.	86
Fig. 52 Diagrama de proceso para polvo cosmético a partir de compuestos insaponificables de aguacate	87
Fig. 53 Contenedores de aceite sometido a ozonificación	88
Fig. 54 Diagrama de proceso para aceite terapéutico de aguacate	88
Fig. 55 Diagrama de proceso para la obtención de una crema para la piel con contenido en vitamina A.	89
Fig. 56 Diagrama de proceso de extracción de aceite por prensado en frío	91
Fig. 57 Diagrama de proceso de refinación de aceite	92
Fig. 58 Diagrama de proceso para extracción de aceite de la semilla de aguacate.	94
Fig. 59 Diagrama de proceso para extracción de colorante a partir de la semilla de aguacate.	97
Fig. 60 Diagrama de proceso de producto para tratar venas y úlceras varicosas	98
Fig. 61 Furano linoleico	99
Fig. 62 Lípido furánico	99
Fig. 63 Diagrama de proceso para la obtención de lípidos furánicos de la hoja de aguacate.	100
Fig. 64 Diagrama de proceso para té o extracto de hojas de aguacate	100
Fig. 65 Diagrama de proceso para trozos y pulpa de aguacate obtenidos por secado osmótico	101
Fig. 66 Diagrama de proceso de secado por atomización de pulpa de aguacate.	103
Fig. 67 Diagrama de proceso para extracción enzimática de aceite de aguacate	104
Fig. 68 Principios de la extracción supercrítica	105
Fig. 69 Diagrama de proceso para extracción de aceite de aguacate con CO <sub>2</sub>	106
Fig. 70 Diagrama de proceso de guacamole mediante tratamiento térmico y alcalino de la pulpa.	108
Fig. 71 Inducción de callo embriogénico de aguacate ( <i>Persea americana</i> Mill. cv. Hass)	111



## ÍNDICE DE TABLAS

<b>TABLA</b>	<b>PÁGINA</b>
Tabla 1. Producción y superficie sembrada de aguacate por estado en Año 2006.	8
Tabla 2. Principales países productores de aguacate. Producción en toneladas año 2007.	9
Tabla 3. Consumo Nacional Aparente de aguacate.	13
Tabla 4. Descripción botánica	16
Tabla 5. Clasificación de las variedades de aguacate según su tipo de flor.	20
Tabla 6. Composición química y valor nutritivo del aguacate	22
Tabla 7. Plagas	23
Tabla 8. Enfermedades	24
Tabla 9. Enfermedades por carencias	26
Tabla 10. Calibre en relación al peso de aguacate.	29
Tabla 11. Clasificación del aguacate por categorías.	30
Tabla 12. Tasa de respiración en el aguacate	31
Tabla 13. Desórdenes fisiológicos	32
Tabla 14. Cambios durante la maduración del aguacate.	37
Tabla 15. Temperaturas de Almacenamiento del Aguacate	45
Tabla 16. Inactivación de enzimas por alta presión hidrostática	60
Tabla 17. Aspectos en el proceso de congelación	64
Tabla 18. Conservadores utilizados en harina deshidratada estabilizada	75
Tabla 19. Formulación de salchichas	80
Tabla 20. Ácidos grasos presentes en el aceite de oliva y de aguacate	81
Tabla 21. Rendimientos de las etapas del refinado físico	93
Tabla 22. Condiciones de pulpa osmodeshidratada después de su almacenamiento	102



## Resumen

El presente trabajo tiene como objetivo contribuir al desarrollo de la industrialización del aguacate mediante la recopilación de información científica y tecnológica que permita realizar un estudio de inteligencia tecnológica que sirva como propuesta para su aprovechamiento integral dando un valor agregado a la semilla, cáscara y pulpa del fruto.

Se realizó un “estudio de inteligencia tecnológica” con la finalidad de detectar propuestas tecnológicas alternativas a las existentes, detectando los usos potenciales del aguacate así como las oportunidades existentes con la introducción al mercado de nuevos productos, teniendo como antecedente el gran crecimiento en los últimos años de la producción de fruto, siendo el aguacate de gran importancia económica para México al ser el principal productor y exportador a nivel mundial.

Los aspectos taxonómicos, fisiológicos y bioquímicos del aguacate son descritos tomando en cuenta su proceso de maduración y por consecuencia los desórdenes más comunes que éste presenta, al igual que se hace referencia a las enfermedades que causan mayores pérdidas en la cosecha e incluso postcosecha del fruto. Además teniendo una revisión del estado del arte tecnológico en cuanto al manejo del aguacate, se plasma la información relacionada con su producción, procesamiento y manejo postcosecha, todo con la finalidad de conocer los parámetros adecuados para su conservación, el aumento de la vida útil y el hecho de minimizar en lo posible las pérdidas por daños postcosecha. En este ámbito, se tiene que la conservación del aguacate se basa en su almacenamiento en frío, principalmente, en combinación con atmósferas controladas y modificadas.

Para el aguacate el principal mercado es el producto en fresco, sin embargo, existen tecnologías para productos como: pulpas, guacamole, deshidratados y aceite principalmente, todos estos productos se encuentran en el mercado aunque no siempre son de fácil acceso, tal es el caso del uso de altas presiones la cual se ha utilizado en países desarrollados en los últimos años. Además de plantear los procesos existentes de uso más común, en este proyecto se identificaron posibles oportunidades tecnológicas para la industrialización de productos de aguacate basadas en patentes internacionales e información científica y tecnológica. Con dicha revisión de información se logró realizar un mapa tecnológico sobre los usos potenciales del cultivo, el cual está dividido en cuatro partes: tecnologías para el aprovechamiento integral, tecnologías emergentes para alargar la vida útil, desarrollo de nuevas tecnologías y tecnologías para la mejora genética.

Con los resultados de la presente trabajo se pudo concluir que la información tecnológica recopilada y organizada, puede ser de gran utilidad al ser aplicada a productos derivados del aguacate, ya que proporciona la información especializada que puede contribuir a la mejora de procesos y optimización de los mismos con la finalidad de aumentar la importancia económica del fruto por la aceptación que éste tienen en el mercado.



## I. Introducción

Durante las dos últimas décadas, el cultivo del Aguacate Hass (*Persea Americana var. Hass*), en el estado de Michoacán, México, primer productor a escala mundial del fruto antes mencionado, ha experimentado un espectacular crecimiento, los grandes volúmenes de producción, su comercialización e industrialización, son motivo del estudio y recopilación de diferentes métodos de transformación para el aprovechamiento integral del fruto.

El aguacate como fruto fresco tiene gran aceptación, con amplias oportunidades de participación en los mercados internacionales, tanto en fresco como procesado. Sin embargo, en la industrialización de sus productos, tales como pulpas, aceites, trozos congelados, etc, solo se ocupa la parte comestible del aguacate, desechándose la cáscara y la semilla, las cuales pudieran tener alguna utilidad. Por lo que uno de los retos en la industrialización de aguacate, es el uso integral del mismo dando un valor agregado a la semilla y a la cáscara.

El aguacate, presenta una variada posibilidad de usos como productos industrializados entre los cuales se encuentran: pulpas como base para productos untables, tanto frescas como refrigeradas o congeladas, mitades congeladas, y obtención de aceite, tradicionalmente para fines cosméticos, incrementándose la producción de aceite extra virgen para fines culinarios, teniendo un alto potencial futuro por sus propiedades.

Dentro de las alternativas nombradas, el puré de aguacate congelado ha sido el que ha tenido un mayor volumen de producción al ser utilizado como base para productos untables constituyendo la base del guacamole (Olaeta, 2003).

El aceite, constituye el segundo producto industrializado del aguacate, sin embargo, su consumo es variado, desde un uso masivo como producto para cosmética a un uso de tipo culinario, ya que por sus cualidades están sustituyendo al aceite de oliva. Es por esta razón que se han realizado análisis a los aceites tanto de la pulpa como de la semilla, para el mejor aprovechamiento del fruto, teniendo como mayor diferencia entre éstos el contenido de ácidos grasos monoinsaturados 64.3% y 15.4% respectivamente (Bora *et al.*, 2004).

Se conocen varios métodos de extracción de aceite de aguacate como: prensado en frío, por hexano, microondas, centrifugación, enzimas y fluidos supercríticos. Todos estos métodos presentan ventajas y desventajas sobre la calidad final del producto.

Actualmente la extracción con fluidos supercríticos para el aceite de aguacate, se presenta como una técnica alternativa ya que se ha demostrado que con ésta se puede obtener un aceite de alta calidad, así mismo, investigaciones demuestran la factibilidad económica de este tipo de extracción (Botha, 2005; Botha y Mc Crindle, 2003).



Para un mayor aprovechamiento del aceite se tiene la extracción enzimática, la cual se basa en la hipótesis que el aceite en los vegetales se encuentra dentro de las células ligado a otras moléculas, se ha estudiado a extracción con una mezcla entre poligalacturonasas,  $\alpha$  amilasa y proteasas (Buenrostro y López, 1986). Con estas mezclas de enzimas se ha logrado tener un rendimiento de extracción del aceite del orden de un 80% conservando sus propiedades sensoriales como brillo, color, aroma y sabor, para mantener una buena calidad (Costa, 2001).

Para la pulpa, la deshidratación osmótica y la deshidratación por atomización así como la liofilización, se presentan también como alternativas interesantes de desarrollar en aguacate. En todos los casos anteriores la tendencia futura será a elaborar productos, en lo posible sin conservadores o si es necesario su uso, que sean naturales o estén dentro de la normativa de productos orgánicos (Olaeta, 2003). Estos productos tienen la finalidad de ofrecer al consumidor productos elaborados con aguacate que presenten un aspecto agradable después de un tiempo de almacenamiento, así como la facilidad de disponer de productos con menor volumen y peso que el fresco teniendo como ventaja un mejor manejo para el almacenamiento manteniendo las propiedades del aguacate y evitando su obscurecimiento al inactivar la enzima polifenol oxidasa mediante tratamientos térmicos (Ortiz M. *et al.*, 2003; Ortiz *et al.*, 2003; Schwartz *et al.*, 2007).

En la actualidad no se tiene un aprovechamiento total de la semilla la cual representa el 15% en peso del fruto, a pesar de que se tiene una alta industrialización del aguacate, ésta es desechada sin ningún aprovechamiento (De Ancos *et al.*, 2006). Sin embargo, se puede tener un aprovechamiento de la semilla obteniendo un colorante de tonalidad violeta debido a compuestos presentes como perseína, un monosacárido de siete átomos de carbono de valor quimiosistémico, epicatequina (un flavonoide), taninos condensados, que son formas poliméricas derivadas de la epicatequina y una proantocianidina trimérica (Devia y Saldrarriaga, 2005; Devia, 2005; Schwartz *et al.*, 2007). Con este colorante se pretende reducir el uso de colorantes sintéticos y éste tiene un uso para fibras textiles, alimentos e industria cosmética entre otras.

Por otra parte se puede obtener aceite de la misma, mediante extracciones con hexano o con CO<sub>2</sub> (fluidos supercríticos), teniendo como principal ventaja ser menos dañino al medio ambiente al no ser tóxico y operar a una temperatura inferior comparada con la de hexano (Griebel *et al.*, 2004). Incluso como un método alternativo es el prensado en frío estudiado para semillas oleaginosas y también para la pulpa de aguacate el cual es uno de los más empleados para conseguir un aceite virgen (Hernández y Mieres, 2005).

Además de su uso como fertilizante orgánico, se han estudiado los posibles compuestos presentes en la cáscara de aguacate mediante el uso de cromatógrafo de gases encontrando: Cariofileno, Germacreno D y ácido Erúico. Las características del Cariofileno y del ácido Erúico, se siguen investigando para determinar su utilidad en algún producto procesado (Cano *et al.*, 2007).



Teniendo en cuenta que México es el principal productor de aguacate a nivel mundial, es importante tener en conocimiento todas las tecnológicas que existen para el aprovechamiento integral del fruto, con base en los aspectos socioeconómicos que refleja la producción del aguacate, en el presente trabajo se realizó un estudio general del aguacate desde postcosecha hasta su procesamiento, así como propuestas tecnológicas patentadas o en investigación. Con lo anterior, se propone contribuir al desarrollo de la industrialización del aguacate mediante la recopilación de información científica y tecnológica de México y el mundo, que permita realizar una propuesta para su aprovechamiento integral dando un valor agregado a la semilla, cáscara y pulpa del fruto.



## II. Objetivos

### **OBJETIVO GENERAL:**

Contribuir al desarrollo de la industrialización del aguacate mediante la recopilación de información científica y tecnológica que permita realizar un estudio de inteligencia tecnológica que sirva como propuesta para su aprovechamiento integral dando un valor agregado a la semilla, cáscara y pulpa del fruto.

### **OBJETIVOS PARTICULARES**

1. Realizar un análisis de la importancia económica del aguacate en México para conocer su consumo aparente y así plantear diversas alternativas de industrialización que aumenten su aprovechamiento integral.
2. Realizar un estudio del arte tecnológico de la conservación y transformación del aguacate para detectar oportunidades que permitan su aprovechamiento integral.
3. Establecer los diferentes procesos tecnológicos para la industrialización integral del aguacate a partir de información generada en el Mundo.





### III. Metodología

El presente trabajo consiste en un estudio de inteligencia tecnológica el cual, según Rincón y Ortiz (2005), se trata de una herramienta de trabajo en la cual la información será recopilada, conjuntada, transmitida y dispuesta de forma ordenada.

La metodología que se siguió consistió en la recopilación de información de diferentes fuentes de información como son: libros, tesis, artículos científicos, patentes, bases de datos, anuarios estadísticos, etcétera.

Una vez obtenida la información se realizó un análisis de inteligencia tecnológica, donde se determinará la información útil y relevante para el desarrollo de la industrialización integral del aguacate.

Con el análisis obtenido se presenta la información en forma de informe técnico dando como resultado de la investigación un mapa tecnológico sobre el uso integral del aguacate (Figura 1).

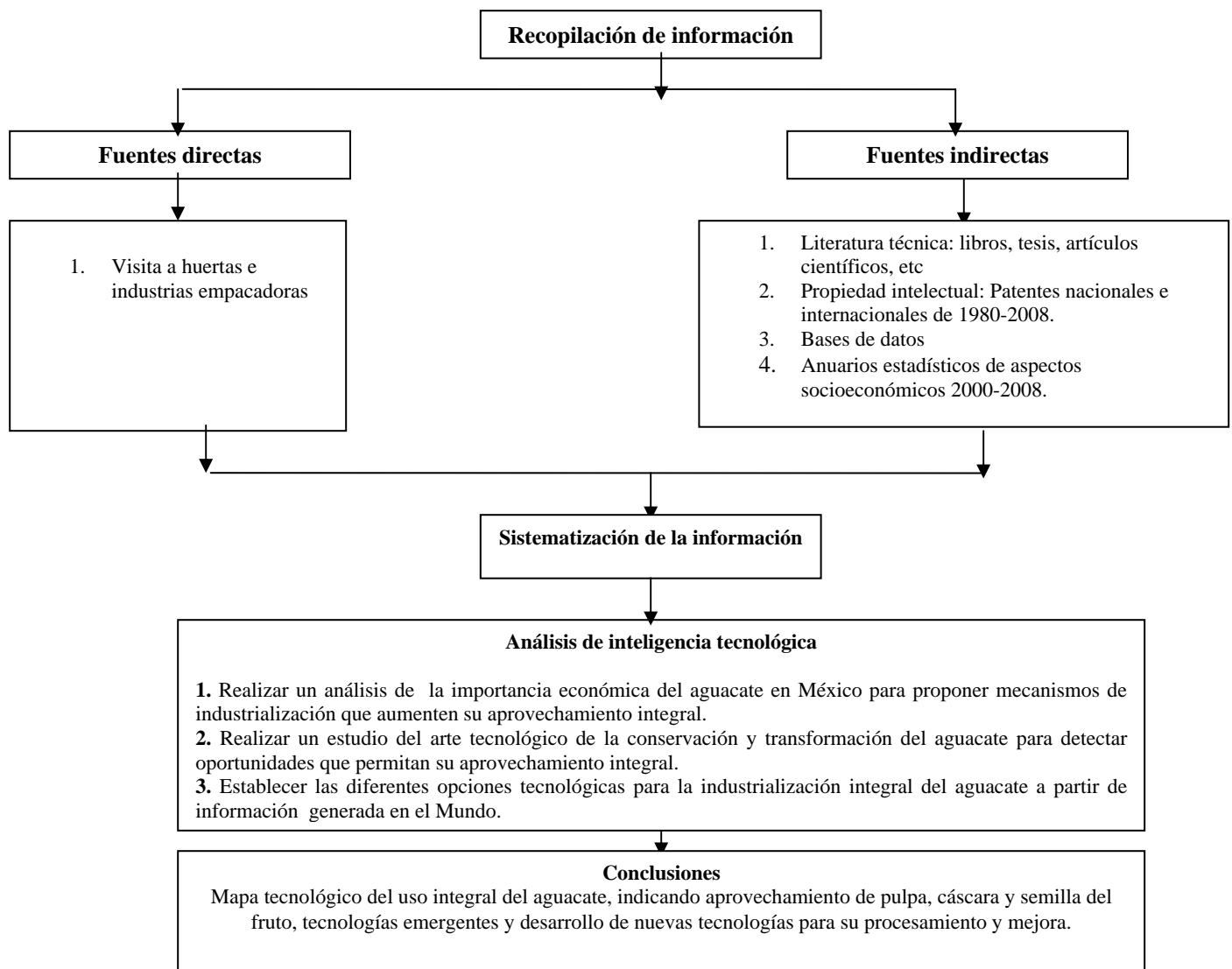


Figura 1. Metodología



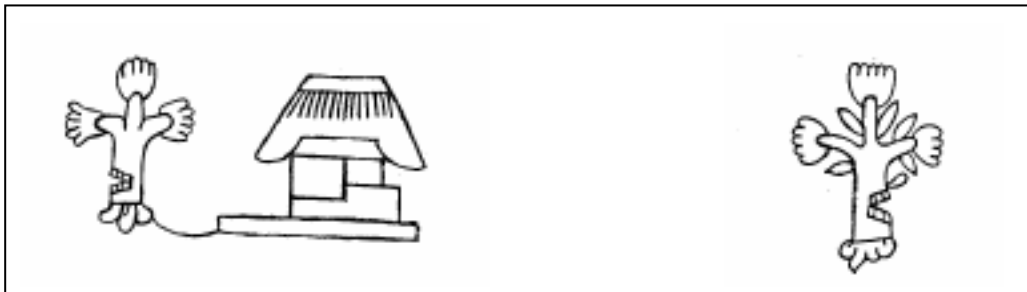
## IV. Importancia Económica

### 1. Historia

México es el centro de origen del aguacate (*Persea americana* Mill.). 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 la domesticación del mismo.

Por otra parte en el Códice Mendocino existen jeroglíficos donde se indica el poblado Ahuacatlan como el “lugar donde abunda el aguacate” que está compuesto por un árbol con dentadura en el tallo “ahuacacahuitl” y un “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 Ahuacatlan era el “ahuacacahuitl” solo (Figura 2) (Sánchez *et al.*, 2001).



**Figura 2. Jeroglíficos de Ahuacatlan.** A la izquierda jeroglífico representando al poblado de Ahuacatlan, que significa lugar donde abunda el aguacate y a la derecha matrícula de tributo utilizado por el poblado de Ahuacatlan para diferenciar mercancía enviada al Imperio Azteca como tributo. Dibujado del códice Mendocino. Sánchez *et al.* (2001)

Mientras que en el códice Florentino se mencionan tres tipos de aguacate: *aoacaquauit*, *tlacacoloacatl* y *quiloacatl*, los cuales, es posible que correspondan a las tres razas que son conocidas ahora que son: Mexicana, Guatemalteca y Antillana.

La clasificación botánica de estas tres razas ha sido variada, algunos indican a la raza Mexicana como una especie por separado; *Persea drymifolia*, otros clasificaron a la raza Guatemalteca como *Persea nubigena* var. *guatemalensis*, sin embargo, actualmente se consideran a las tres razas dentro de la especie *Persea americana* Mill (Kopp, 1966; Williams, 1977). El posible lugar de origen de estas razas se muestra en la Figura 3:

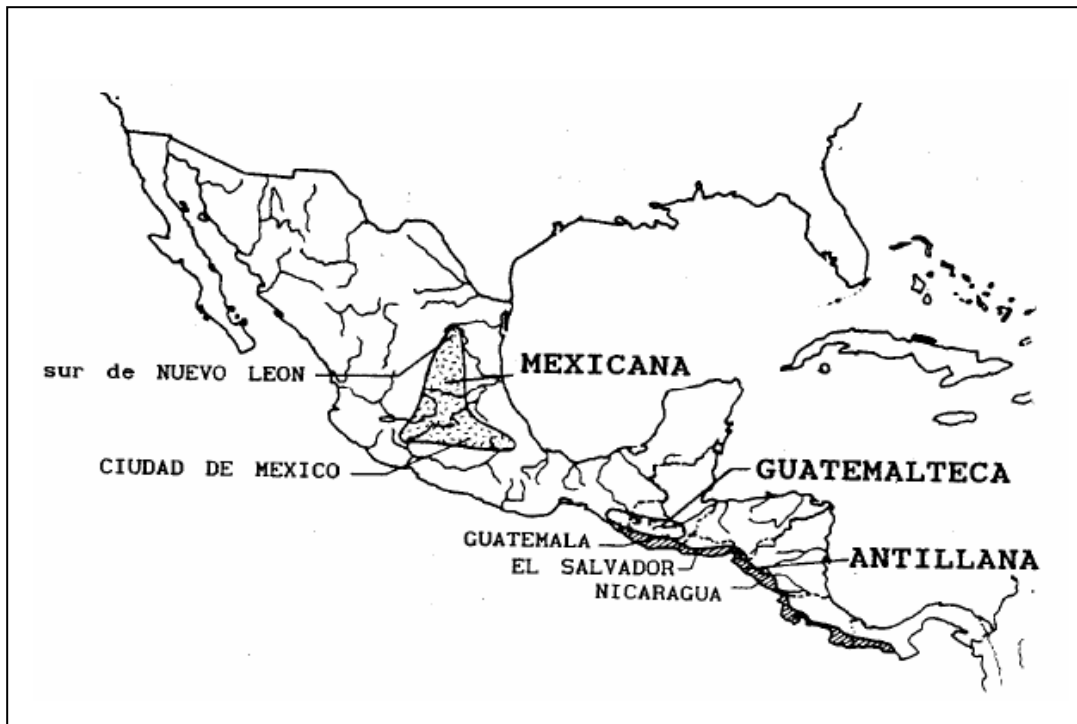


Figura 3. Posibles centros de origen de las tres razas de aguacate. Fuente: Sánchez *et al.* (2001)

En las décadas de los 50, 60 y 70's 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, USA. El establecimiento de los huertos comerciales de esta variedad se extiende y sustituye en el mercado nacional a "Fuerte" y otras variedades.

## 2. El aguacate en el mercado mexicano

Los principales estados productores son: Michoacán, Nayarit, México, Puebla y Morelos, en los cuales se concentra la mayor superficie plantada y cosechada y la mayor producción. La franja Aguacatera del Estado de Michoacán, principal zona productora y exportadora del país, está localizada en la subprovincia fisiográfica Tarasca; ocupa 7.752 kilómetros cuadrados y representa el 12.9% de la superficie estatal. El clima relevante es templado, húmedo y subhúmedo, con temperatura media de 8 a 21 grados centígrados y una precipitación anual de 1200 a 1600 mm. Es una región volcánica reciente. Los bosques de pinos ocupan el 40% de la superficie; el encino el 9%. La superficie agrícola representa el 26%. También tiene una zona de transición (subtropical) entre trópico-seco y zona templada Velásquez Peláez (2006).

Los principales estados productores son Michoacán, Nayarit, México, Puebla y Morelos, en los que se concentra la mayor superficie plantada, cosechada y la mayor producción.



De acuerdo con cifras oficiales, Morelos, Yucatán, Sinaloa, Baja California Sur, Jalisco y Veracruz han superado a Michoacán en la producción promedio por hectárea (8-12 ton), aunque la producción en la mayoría de esos estados no es con el cultivar Hass (tabla 1). La mayor parte de la producción se obtiene de octubre a marzo y el cultivo se realiza bajo condiciones de riego en un 50 % de la superficie. Michoacán tiene el 53 % de la superficie de riego y el 47 de temporal, obteniéndose el 60 % de la producción en condiciones de riego (Schwartz *et al.*, 2007). En 27 municipios productores de aguacate Hass de Michoacán existen más de 9 mil productores, 33 asociaciones agrícolas, 296 empacadores y 6 agroindustrias productoras de pasta y guacamole congelado y aceite no refinado (Velásquez Peláez, 2006)

**Tabla 1. Producción y superficie sembrada de aguacate por estado en Año 2006**

ESTADO	SUPERFICIE (HA)	PRODUCCION TON.	RENDIM. (TON/HA)	PERIODO COSECHA
Michoacán	74,969	670,508	8.9	JUL-MAY
Nayarit	2,437	23,250	8.7	JUL-SEPT
Morelos	2,392	19,840	9.4	MAY-AGO
Puebla	2,206	11,793	5.3	MAY-AGO
Estado de Méx	2,105	13,222	7.7	MAY-AGO
Sinaloa	1,289	11,343	8.8	AGO-FEB
Guanajuato	1,106	5,530	5.0	MAY-AGO
Otros	6,519	41,721	6.4	

Fuente: Asociación de Empacadores y Exportadores de Aguacate del Estado de Michoacán (ASEEAM, 2006)

En Michoacán, la producción se desarrolla en seis regiones, las que a su vez incluyen varias zonas ó municipios, de los cuales únicamente Uruapán, Periban, Arios de Rosales y Salvador Escalante son los municipios autorizados para exportar fruta hacia Estados Unidos (Martínez, 1997).

### 3. El aguacate en el mercado internacional

La producción mundial de aguacate ha venido creciendo a un ritmo acelerado desde 1999 (5% en promedio por año), alcanzando un total de 3.2 millones de toneladas en el 2005. Más de 60 países producen esta fruta comercialmente, aunque el 70% de la producción total se concentra en tan solo diez de ellos. México, Indonesia y Estados Unidos aparecen como los tres mayores productores mundiales de aguacate siendo los mexicanos los principales productores en el mundo con casi un millón de toneladas en el año 2005, una tercera parte de la producción global, y con una participación aproximada del 30% sobre las exportaciones mundiales. La producción de Estados Unidos e Indonesia es similar, de 264 y 247 mil toneladas respectivamente, mientras la de Colombia se ubica en un cuarto lugar con 185.8 mil toneladas, equivalentes al 5,8% de la producción global, superando a Brasil y Chile, estos dos con 175 mil y 163 mil toneladas respectivamente (Sánchez *et al.*, 2001; Velásquez Peláez, 2006).



El Aguacate es una fruta que ha sostenido un permanente incremento en su producción mundial, incrementando su producción en un 52.52% en diez años (Tabla 2) FAO (2004-2005).

**Tabla 2. Principales países productores de aguacate. Producción en miles de toneladas año 2007.**

Posición	Región	Producción (1000 T)
1	México	1142892
2	Chile	250000
3	Indonesia	201635
4	Estados Unidos	188100
5	Rep. Dominicana	183535
6	Colombia	157552
7	Brasil	154096
8	Perú	121720
9	España	120000
10	Guatemala	114410
11	Kenya	93639
12	China	92000
13	Israel	85913
14	Venezuela	83304
15	Sudáfrica	65203
16	Congo	62000
17	Camerún	55000
17	Etiopía	55000
19	Australia	47238
20	Haití	43000

Fuente: FAOSTAT (2009)

La producción mundial de Aguacate se ha concentrado de manera fundamental en países como México, Estados Unidos y Brasil, los cuales han participado con el 8%, 6% y 5% respectivamente, de la producción total.

México es el mayor productor de Aguacate con un volumen superior a un millón 40 mil toneladas cultivadas en 102.467 hectáreas. En donde la región de Michoacán concentra el 80% de esta producción (CEI-RD, 2007).

### 3.1 Exportaciones

El aguacate se ha convertido en una de las frutas de mayor crecimiento en el mercado mundial, y sus perspectivas son las mejores en cuanto a crecimiento sostenido en las exportaciones futuras, no solamente considerando la campaña de promoción en los Estados Unidos para aumentar su consumo, sino también el aumento existente de la demanda en el mercado europeo, y mas recientemente en otros mercados como Japón y Rusia (Velásquez Peláez, 2006).

El mayor exportador mundial fue México con un total de 399.5 millones de dólares, 43.4% de las exportaciones globales, seguido este país por Chile con US\$ 166.3 millones (18.1%), y España e Israel con 81.6 y 58.5



millones de dólares respectivamente. Luego siguen otros dos países europeos, Holanda y Francia, Sudáfrica, Nueva Zelanda, y Perú, que ya empieza a incursionar con éxito los mercados externos con la fruta, y finalmente, Estados Unidos, con 9.8 millones de dólares, no obstante ser el mayor comprador mundial de aguacates (Figura 4) (Velásquez Peláez, 2006).

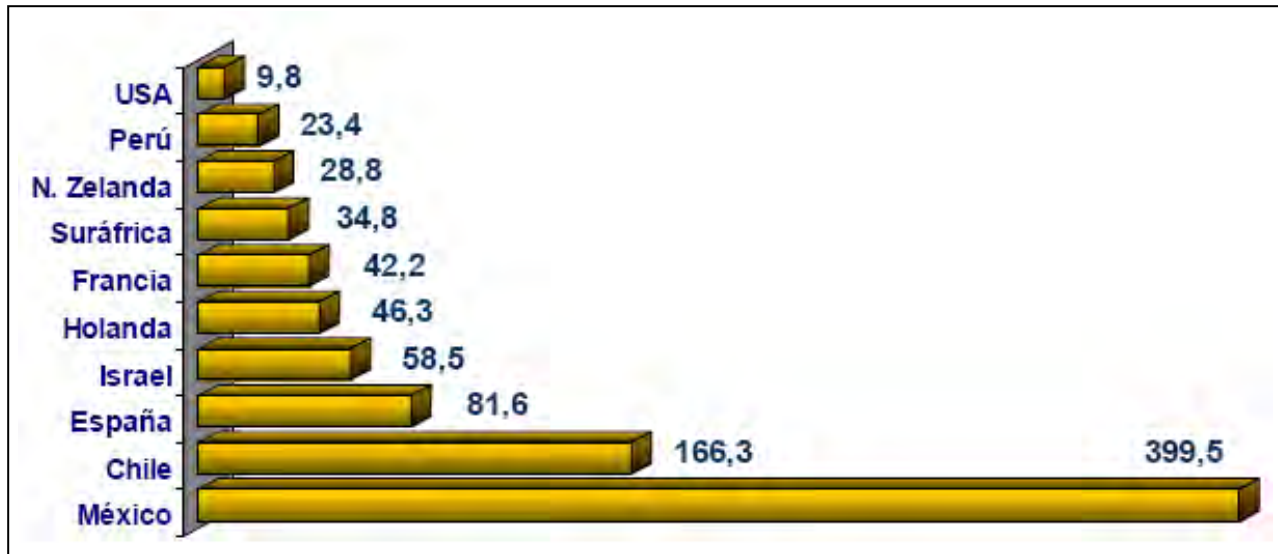


Figura 4. Principales exportadores mundiales de aguacate 2005. (millones de dólares). Fuente: Velásquez Peláez (2006).

De acuerdo a Velásquez Peláez (2006), las exportaciones mexicanas ascendieron a US\$ 399.5 millones en el año 2005, correspondiéndole como destino a los Estados Unidos la mayor parte con 252.1 millones de dólares, el 63.1% del total. Japón surge como el segundo mercado en importancia con 47.8 millones de dólares, seguido por Canadá y Francia con 31.1 y 23.4 millones de dólares respectivamente (Figura 5)

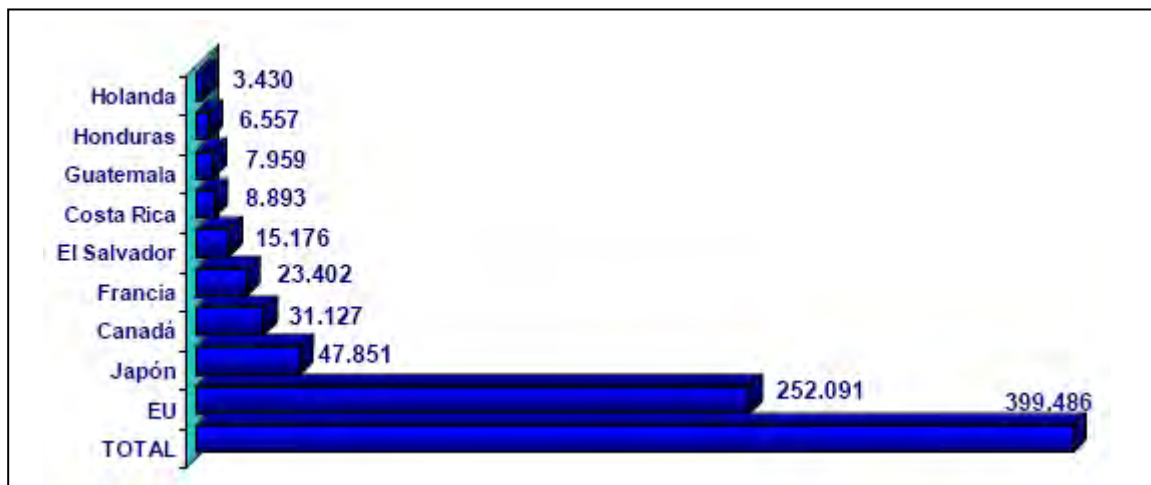


Figura 5. Exportaciones Mexicanas de aguacate 2005. (miles de dólares). Fuente: Velásquez Peláez (2006)



Las exportaciones mexicanas hacia los Estados Unidos prácticamente se inician a mitad de la década de los noventa, habiendo estado casi totalmente restringidas con anterioridad. Pero a partir del año 1996 México empieza a hacerse sentir en el mercado estadounidense, exportando en ese año un valor de 42.6 millones de dólares, cifra que se ha venido incrementando notablemente hasta llegar a la cifra del 2005 de US\$ 399.5 millones. Sin embargo es a partir del 2002 cuando México se convierte en un proveedor verdaderamente importante de los estadounidenses, compitiendo abiertamente con los chilenos. En ese año sus exportaciones totalizaron 102,6 millones de dólares, para aumentarlas un año después en 93.7%, y 28.9% tres años más tarde, en el 2005 (Figura 6 y Figura 7) (Velásquez Peláez, 2006).

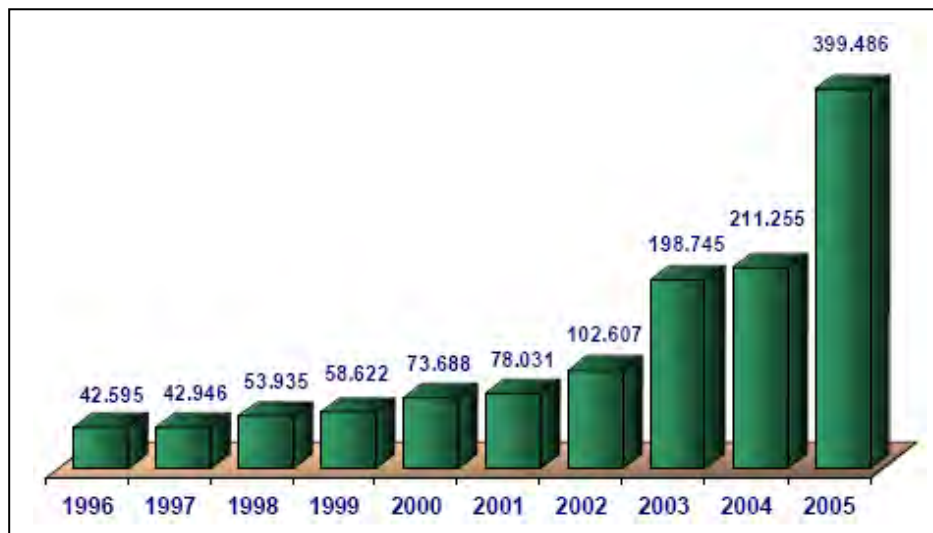


Figura 6. Evolución de las exportaciones mexicanas (miles de dólares). Fuente: Velásquez Peláez (2006)

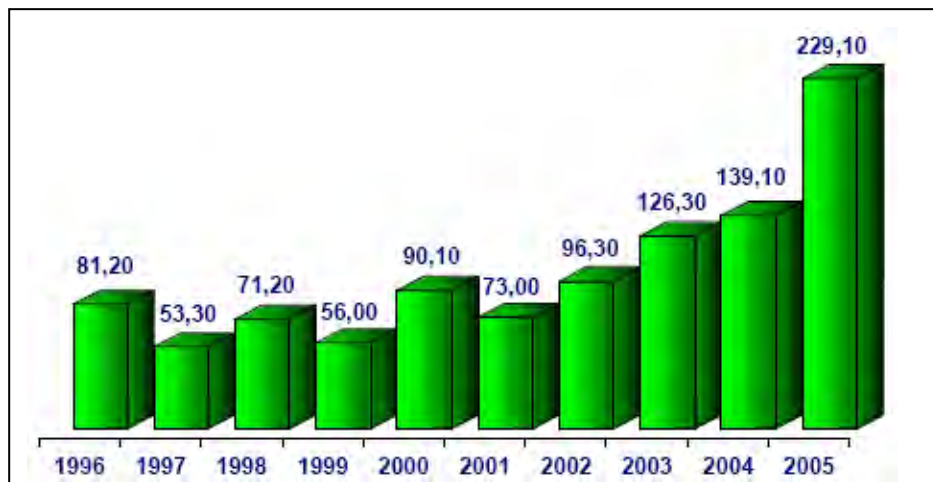


Figura 7 Evolución de las exportaciones mexicanas (miles de toneladas). Fuente: Velásquez Peláez (2006)



### 3.2 Importaciones

Existen dos grandes circuitos en el comercio internacional de aguacate: el que confluye en el mercado europeo y el que abastece a los Estados Unidos, aunque surge otro de relativa importancia, especialmente en los últimos años, con Japón. El mercado de los EEUU tiene fuertes restricciones sanitarias por lo que pocos países pueden acceder al mismo. México, su mayor proveedor, durante 80 años tuvo cerradas las puertas del mercado estadounidense debido a la Mosca del Mediterráneo y del Barrenador del tallo. Actualmente se puede exportar sin restricciones desde Michoacán a todo el territorio estadounidense y en todas las épocas del año (Figura 8 y Figura 9) (Velásquez Peláez, 2006).

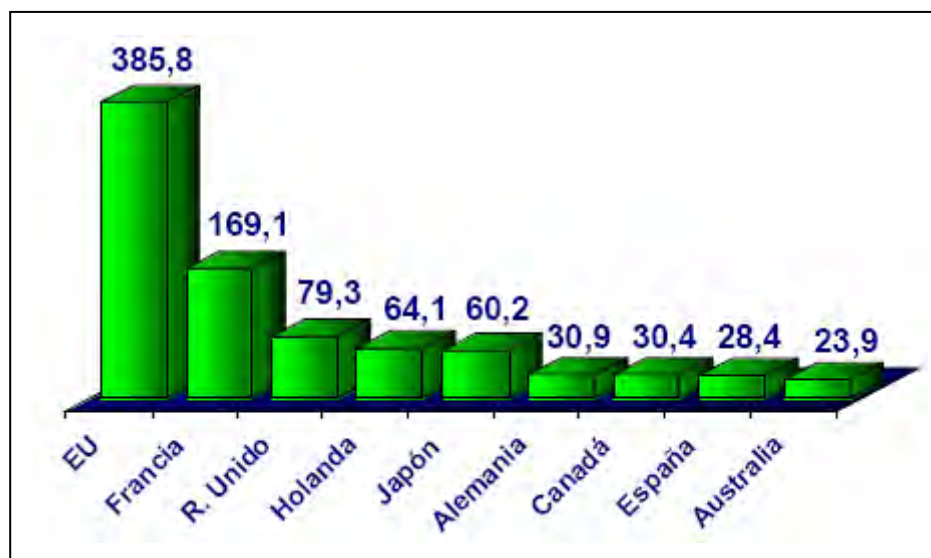


Figura 8. Principales importadores mundiales 2005. (millones de dólares). Fuente: Velásquez Peláez (2006)

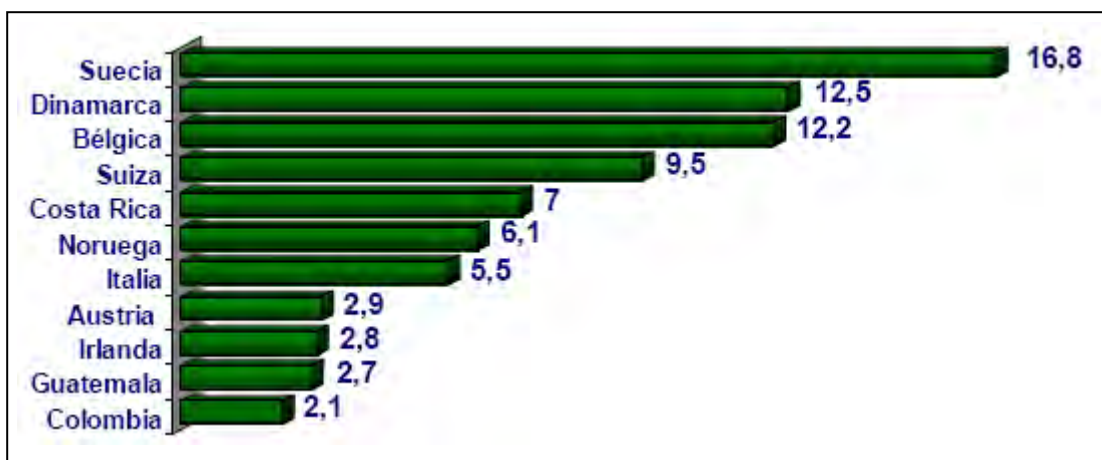


Figura 9. Otros importadores mundiales 2005. (millones de dólares). Fuente: Velásquez Peláez (2006)





### 3.3. Comercio del aguacate

De acuerdo a Álvarez (2004), los destinos de la producción nacional de aguacate son: exportaciones 12%, Industria 19%, y consumo nacional 69%. Álvarez del Toro (2004)

La demanda, o la oferta, se deben analizar en la relación prevaleciente respecto del comercio exterior, pues un cierto número de productos entran al mercado nacional, en tanto que otros salen al extranjero. Por ello se habla de Consumo Nacional Aparente que se define como la producción nacional, más las importaciones (M), menos las exportaciones (X) como lo expresa la ecuación 1 (Secretaría de economía, 2009). Esto se expresa:

$$\text{CNA} = \text{PRODUCCIÓN NACIONAL} + \text{M} - \text{X} \dots \text{Ec. 1}$$

En la tabla 3, se muestran datos de comercio para la obtención del consumo aparente.

**Tabla 3. Consumo Nacional Aparente de aguacate**

Indicador	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Producción (Ton)	907439	940229	901075	905000	987000	1021515	1134250	1142892
Importaciones (Ton)	0	0	0 F	0 F	412	0	2114	***
Subtotal (Ton)	907439	940229	901075	905000	987412	1021515	1136364	***
Exportaciones (Ton)	89270	71621	94243	124239	135872	218525	208349	231507*
Total CNA (Ton)	818169	868608	806832	780761	851540	802990	928015	858439*

Fuente: FAOSTAT (2009)

\* = Cifras obtenidas por estimación; F = Estimación FAO; \*\*\* datos omitidos por falta de variables.

En la tabla anterior se muestra que a partir del 2004 la producción fue aumentando gradualmente, hasta el año 2006 que aumentó en un 11% con respecto al 2005, de igual forma las exportaciones han aumentado teniendo variaciones en el consumo nacional aparente del fruto. Con esta tabla se demuestra el alto consumo aparente del aguacate en México con lo que se justifica la búsqueda de distintas vías de industrialización del mismo.



## V. Aspectos Taxonómicos, Bioquímicos y Fisiológicos del Aguacate

Actualmente el aguacate es un cultivo en expansión ya ha demostrado poseer valiosísimas propiedades alimenticias, destacándose su alta concentración de proteínas y aceites insaturados y la ausencia de colesterol. Geográficamente la expansión comprende numerosos países tropicales del mundo, dónde se destacan diferentes variedades de frutos, a su vez obtenidos de 3 diferentes razas de aguacate, como la Mexicana, la Guatemalteca y la Antillana.

### 1. Taxonomía y Distribución Geográfica

Los aguacates cultivados pertenecen a la especie *Persea gratissima* (Gaertn) (Figura 10), también llamada *Persea americana* (Mill). En cuanto a la distribución geográfica, las diferencias en la temperatura media anual y en la pluviosidad, han dado lugar a tres razas de aguacate: la mexicana, la guatemalteca y la antillana, cuyas distintas condiciones de adaptación al medio han permitido la difusión del cultivo de este fruto por diversos lugares del mundo. Para la adaptación del aguacate es condición fundamental conocer el mínimo de temperatura absoluta de la región donde se desee cultivar, ya que la raza antillana no resiste temperaturas inferiores a -2° C y la mexicana, más resistente, a -4° C (SICA, 1998).

En la sistemática vegetal, la situación del aguacate es (Acedo, 2004-2008; ICTA, 2003):

- Reino: *Plantae*
- Subreino: *Tracheobionta*
- División: *Magnoliophyta*
- Clase: *Magnoliopsida*
- Orden: *Ramales, Laurales*
- Suborden: Magnolíneas
- Familia: *Lauraceae*
- Género: *Persea*
- Especie: *Persea Americana*



Figura 10. Frutos y follaje de *P. Grátisima*. Fuente: Acedo (2004-2008)

Algunos nombres corrientes que recibe el aguacate son: Cura (Venezuela), Palta (Perú), Pagua (Cuba y Costa Rica), Avocatier, persée, (francés), Alligator pear, avocado (inglés) , Avocado (italiano), Avocadobaum (alemán), Abacate (portugués).

### 1.1 Familia

El aguacate pertenece a la familia de las Lauráceas, la cual está formado por árboles o arbustos de hojas alternadas sin estipulas, perennes, coriáceas y provistas de células oleíferas.

Las flores tienen un periantio formado normalmente por dos verticilos del mismo aspecto, los cuales poseen a su vez tres piezas libres. El androceo tiene tres o cuatro verticilos con tantos estambres como piezas tiene cada verticilo del periantio; a veces, los estambres están reducidos a estaminoides estériles. El ovario es unilocular, súpero y contiene una sola semilla; el fruto es drupáceo o abayado.

Las plantas de género *Persea*, que dentro de la familia de las Lauráceas se engloba en la tribu de las Cinamóneas, tienen flores cíclicas hermafroditas, trímeras, de sépalos semejantes a los pétalos, con el androceo provisto de tres verticilos de estambres fértiles, de anteras dehiscentes por valvas y un verticilo de estaminoides estériles. El ovario monocarpelar, unilocular y monospermo, da lugar a un fruto en drupa (ICTA, 2003).

### 1.2 Género

El género *Persea* se subdivide en dos secciones:

**EUPERSEA:** Comprende una sola especie productora de frutos de gran tamaño y es oriunda de América Central: *Persea gratissima*, los aguacates (ICTA, 2003).

**ALSEODAPHNE:** Comprende nueve especies con frutos de pequeño tamaño, esféricos u oblongos, algunos de ellos cultivados como ornamentales: *Persea chinensis*, *Persea breviflora*, *Persea indica*, originarios del sudeste de Asia; *Persea carolinensis*, originario de los países meridionales de Norteamérica; *Persea longipes* y *Persea*



*floccosa*, que han sido probadas como posibles patrones donde injertar los aguacates con el fin de lograr una mayor resistencia a las diversas enfermedades de las raíces, sin haber conseguido resultados positivos (Figura 11) (ICTA, 2003).




Figura 11. *Persea indica*. Fuente: Jardín Botánico Mundani (2009).



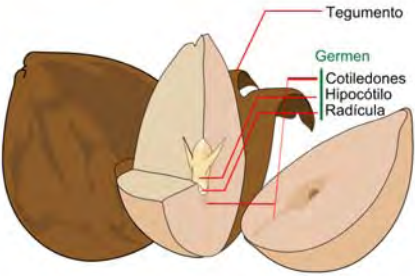
## 2. Descripción botánica

Actualmente se conocen más de quinientas variedades de *Persea gratissima*, cuyas características se observan en la tabla 4:

Tabla 4. Descripción botánica

	Descripción
<p style="text-align: center;"><b>Árbol</b></p>  <p style="text-align: center;"><i>Árbol persea gratissima</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- especie perenne de tallo aéreo, con características leñosas y follaje siempre verde, su raíz es bastante superficial.</li> <li>- 20 a 30 metros de altura o reducido según el clima, el suelo y las técnicas de cultivo.</li> <li>- rápido crecimiento</li> <li>- tronco recto, la corteza lisa, de color claro en las ramas jóvenes y grisáceo en las más viejas.</li> <li>- alta susceptibilidad al exceso de humedad en las raíces, que induce a las asfixias y ataques de hongos que pudren los tejidos.</li> </ul>
<b>Hojas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- simples y enteras de forma elípticamente alargada y nervadura pinnada.</li> <li>- cuando es joven presenta un color rojizo; al llegar a la madurez estas hojas se tornan lisas y de un verde intenso y oscuro.</li> </ul>
<b>Flores</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- hermafroditas, tanto los órganos masculinos como femeninos, no maduran al mismo tiempo.</li> <li>- blanquecinas y de pequeño tamaño, frecuentemente, en la terminación de la ramas</li> <li>- unida al eje de la inflorescencia por medio de un pedúnculo que se desarrolla con el fruto y que puede alcanzar hasta 20 cm de longitud.</li> </ul>



 <p>flor del árbol de aguacate</p>	<ul style="list-style-type: none"><li>- solo el 0.1% llegan a transformarse en frutos</li><li>- basta quede fecundado el 1% de las flores para obtener una buena cosecha.</li></ul>
<p><b>Fruto</b></p> 	<p>Es globoso, ovoide o piriforme, es un drupa de tamaño variable, que puede alcanzar hasta 10 cm longitud y un peso comprendido entre 200 y 1000 gramos. Según la variedad, el epicarpio puede estar constituido por una fina y lisa película o una corteza gruesa y correosa, de una coloración entre el verde, el gris y el violeta. El mesocarpio, a su vez, está formado por una pulpa de consistencia blanda, de color blanco amarillento que pasa a verde en la proximidad de la piel; tiene un agradable sabor al de las avellanas.</p>
<p><b>Semilla</b></p>  <p>Estructura de la semilla de aguacate</p>	<p>La semilla está parcialmente adherida al mesocarpio, es globosa, está protegida por una cáscara dura y contiene un jugo lechoso.</p>

Fuente: Elaborado a partir de información de: Acedo (2004-2008); Eden Botanical Platforms; Flickr (2009); ICTA (2003); Sánchez (2008); Sica (1998); Velásquez (2006); Velásquez Peláez (2006); Wikipedia (2008).

### 2.1. Variedades

Existen tres razas dentro del aguacate: Mexicana, Antillana y Guatemalteca. La raza Guatemalteca presenta caracteres intermedios con respecto a las otras dos razas. La mexicana es más tolerante al frío y más sensible a los suelos salinos que la Antillana. Los frutos de la Mexicana son de pequeño tamaño y contienen un alto porcentaje en aceite, mientras que en la Antillana ocurre justo lo contrario (ICTA, 2003).

Según un determinado criterio sistemático, las tres razas de aguacate, corresponden a una única especie, la *Persea americana* (Mill) o *Persea gratissima* (Gaerth), de la que se podría destacar una subvariedad, la *Persea drymifolia*, correspondiente a la raza mexicana (Figura 12). Siguiendo otro criterio sistemático, cada raza pertenece a una especie diferente; así la raza mexicana a la *Persea drymifolia*, la raza antillana a la *Persea americana* y a la guatemalteca a la *Persea schiedeana* (Nies). Además existe el grupo de los hídricos formado por variedades obtenidas por cruce de dos variedades del distinto grupo (López *et al.*, 2007).



**Figura 12. *Persea drymifolia* o Aguacate criollo.** Fuente: Blogspot (2008).

Estas tres razas desde la antigüedad se fueron mezclando naturalmente entre ellas por medio de su propio sistema de reproducción la “polinización cruzada” mencionada anteriormente; dando origen a incontables variedades híbridas naturales indefinidas (Velásquez de Klimo, 2006).

Se han realizado estudios sistematizados que han clasificado mas de 500 variedades, sin embargo, la mayoría de éstas se han descartado para obtener variedades comerciales que se adapten a una producción de escala comercial. De este gran número de variedades, la mayoría han tenido problemas de productividad como la estación productiva, cantidad de frutos, en calidad del contenido de proteína y grasas y problemas de manejo postcosecha principalmente en la resistencia al transporte (Figura 13 y Figura 14) (Velásquez de Klimo, 2006).

Algunos ejemplos de variedades comerciales desarrolladas gracias a la selección e hibridación de las razas originales son (Rodríguez, 1992):

De la raza Antillana: Pollock, Peterson y Waldin

De la Guatemalteca: Mac, Orotava, Nabal, Anaheim, Hass, Booth 7, Booth 8

De la Mexicana: Puebla, Mazapán, Zutano, topa-topa y Bacon.

También se mencionan algunos híbridos de las razas:

Mexicana-Guatemalteca: Fuerte, Ettinger, Rincón, Robusto, Lula

Antillana-Guatemalense: Gema y Choquette

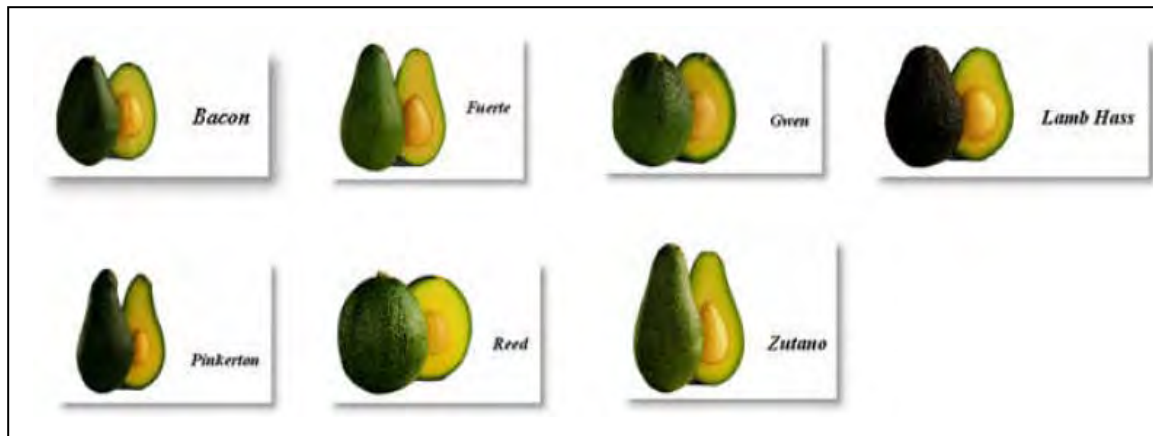


Figura 13. Principales variedades cultivadas en California (además del HASS) Fuente: Velásquez Peláez (2006)

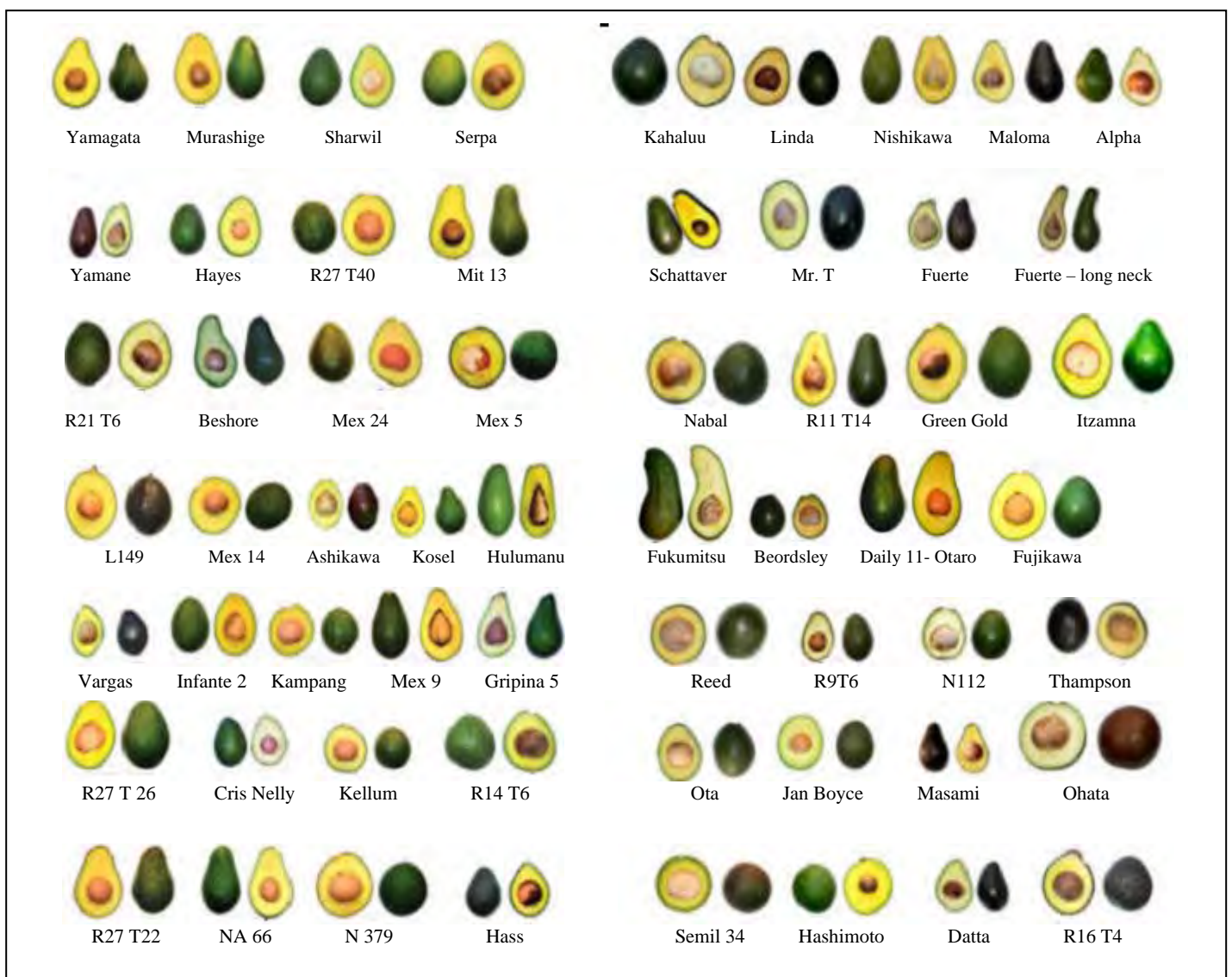


Figura 14. Algunas de las variedades existentes en el mundo. Fuente: Velásquez Peláez (2006).



La clasificación de acuerdo al tipo de flor, permite conocer la mejor combinación para la plantación del fruto para obtener mejores resultados en la polinización; se encuentra la floración de tipo A y la de tipo B. En el primer grupo, la floración de las plantas se registra en dos días, en el primero, funcionan como hembras por la mañana. En el segundo día por la tarde funciona como macho, es decir suelta el polen. Los árboles del grupo B son aquellos en donde el primer día por la tarde las flores funcionan como hembras, es decir que el órgano femenino esta receptivo mientras que el otro día por la mañana las mismas flores funcionan como macho o sea que sueltan el polen. A continuación se muestran algunas variedades de acuerdo al tipo de flor que presentan (Tabla 5, Figura 15):

Tabla 5. Clasificación de las variedades de aguacate según su tipo de flor.

Variedad	Tipo de flor
Booth 7	B
Booth 8	B
Choquette	A
Hall	B
Itzama	B
Simmonds	A
Fuerte	B
Hass	A
Nabal	B
Guatemala	B
Ettinger	B

Fuente: ICTA (2003)

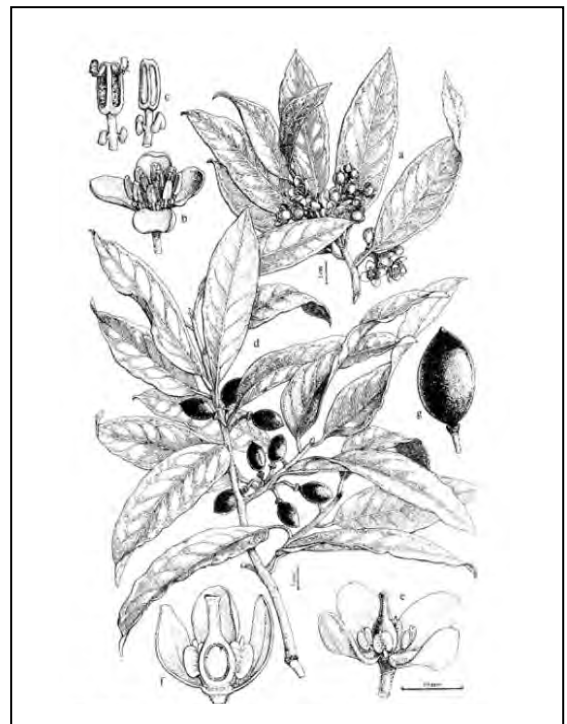


Figura 15. Orden laurales. *Larus nobilis* cultivado. a) rama florida; b) flor masculina; c) estambre; d) rama fructífera; e) flor femenina; f) sección de flor femenina; g) fruto maduro.

### 2.1.1. Hass

A partir de su patentamiento en el año 1935, año tras año ha sido diseminado y cultivado en las zonas aptas para su cultivo alrededor del mundo (Figura 16). La demanda de esta variedad en particular ha ido creciendo, y se ha ganado rápidamente espacio en los mercados internacionales, desplazando a las variedades que la precedieron, gracias a los atributos encontrados los cuales son:

- Tamaño de fruta mediano
- Pulpa cremosa sin fibras





- Exquisita palatabilidad
- Contiene un corozo pequeño
- Su piel madura de color negro
- Permanencia duradera en el árbol
- Resistencia al transporte
- Dura meses en cadena de frío
- Acepta la maduración con etileno
- Contiene más potasio que el banano
- Ayuda a bajar el colesterol



**Figura 16. Aguacate variedad Hass. Fuente: COCAMPA (2009)**

### **2.1.2. Patrones**

Las plantas utilizadas como patrón deben provenir de árboles nativos o locales, preferentemente de las zonas altas, que hayan mostrado los mejores resultados por su rusticidad y adaptabilidad al medio (ICTA, 2003; Velásquez de Klimo, 2006).

Según la Asociación Agrícola de Productores de Aguacate de Uruapan, Michoacán, México (APROAM), la inclinación del productor por la variedad Hass, se basa en su productividad, debido a sus cualidades para tolerar el transporte y la conservación, así como excelente calidad de pulpa. Además el hábito de crecimiento del árbol, considerado compacto, permite incrementar las densidades de población facilitando las labores de cultivo (Velásquez de Klimo, 2006).

### **3. Prácticas culturales de cultivo**

Se refieren a las técnicas de cultivo que ayudan a la optimización de los recursos para obtener mejores resultados en la cosecha del fruto. Éstas incluyen: la preparación del suelo, eliminación de malas hierbas, poda, propagación del fruto por semilla o por injerto, marcos de plantación, riego, fertilización y recolección. Normalmente, la primera cosecha 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.



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 (ICTA, 2003; Velásquez de Klimo, 2006).

#### 4. Composición química y valor nutritivo

El aguacate, considerado como "la mantequilla de Dios", es un fruto rico en aceite, fibras, proteínas, carbohidratos, vitaminas y minerales, como se observa en la Tabla 6:

**Tabla 6. Composición Química y valor nutritivo del Aguacate**

<b>Componente</b>	<b>g/100 g de porción comestible</b>
Humedad	70.56
Grasa	20.00
Carbohidratos	5.95
Proteínas	2.10
Cenizas	1.32
Calorías	207
	<b>mg/100 g de porción comestible</b>
Calcio	24
Fósforo	47
Hierro	0.53
Tiamina	0.09
Riboflavina	0.14
Niacina	1.9
Ácido Ascórbico	14

Fuente: Rodríguez (1982)

El aguacate contiene cantidades significativas de vitaminas como la "A", "C", "D", "E", "K" y parte del complejo "B", lo que lo hace un fruto 100% nutritivo.

El aguacate es rico en proteínas, vitaminas A, B1, B2, B6, C y E, siendo la fruta que aporta mayor cantidad de esta última. También es apreciable su riqueza mineral, sobre todo en hierro, calcio, fósforo y potasio (Rodríguez, 1982).

Es importante señalar que el ácido graso dominante en el aguacate es el oleico (entre el 70 y el 80%), el cual se acumula en las células preferentemente bajo forma de triglicéridos. Cuanto mayor es el contenido de aceite





menor es el de agua en el mesocarpo. Otros ácidos grasos que se forman con el desarrollo del fruto, si bien en proporciones muy inferiores al oleico, son el linoleico (10- 11%) y el palmítico (casi un 7%). También aparecen trazas de ácido esteárico, mirístico, linolénico y araquídico. En cualquier caso los ácidos grasos insaturados prevalecen en la composición, haciendo el aceite de aguacate muy apto para la alimentación. Comparando el índice de yodo con otros alimentos este posee un valor más alto que otros aceites lo que supone que la formación de colesterol sea reducida, porque a mayor índice de yodo menor es la presencia de ácidos saturados (Caro, 1998).

5. Pérdidas precosecha en aguacate.


5.1. Plagas

Una de las principales plagas de las muchas que atacan al aguacate son los insectos, y entre éstos el grupo más numeroso pertenece al orden de los hemípteros (cochinillas, pulgones, chinches, piojos), algunos coleópteros, un lepidóptero, un tisanóptero del grupo de los trípodos, y un ácaro, la araña roja. Las principales plagas que dañan al aguacate se encuentran en la Tabla 7:

Tabla 7. Plagas

Plaga	Síntoma
<p data-bbox="164 1083 943 1146"><b>Talador de la semilla <i>Heilipus luari</i> Boh (Coleoptera: Curculionidae) <i>Heilipus pittieri</i> (Barber) o Barrenador grande del hueso</b></p> 	<p data-bbox="971 1083 1438 1415">El adulto perfora la cáscara del fruto en donde deposita los huevos. Al nacer las larvas se introducen en la semilla de la cual se alimentan durante todo el estado larvario. Si el fruto es atacado cuando está pequeño se cae; si el ataque sobreviene cuando el fruto es adulto, no se cae pero con frecuencia se pudre debido al ataque secundario de microorganismos. El insecto adulto se alimenta de brotes, hojas y frutos.</p>
<p data-bbox="201 1482 906 1514"><b>Barrenador pequeño del hueso (<i>Conotrachelus persea</i> Barber)</b></p>  <p data-bbox="383 1822 721 1850">Pudrición causada en su etapa final</p>	<p data-bbox="971 1482 1474 1604">Puede iniciar el daño desde que los frutos se encuentran en pleno desarrollo, dañándolos completamente hasta que se tornan de color púrpura (fruto de abajo) y caen.</p>



<p><b>Perforador del fruto <i>Stenomema catenifer</i></b></p> 	<p>La larva se introduce en el fruto cuando está en desarrollo y perfora la piel y la pulpa. Es muy importante recoger los frutos caídos, destruirlos y quemarlos.</p>
---	--





Fuente: Elaborado a partir de información de: ICTA (2003); SICA (1998).

## 5.2. Enfermedades




### 5.2.1. Enfermedades causadas por microorganismos

Las principales enfermedades causadas por microorganismo se muestran en la tabla 8:

Tabla 8. Enfermedades causadas por microorganismos

Enfermedad	Microorganismo	Síntoma
<p><b>Pudrición de la raíz o marchites del aguacate</b></p>	<p><i>Phytophthora cinnamomi</i> Rands</p> 	<p>Esta enfermedad se presenta en cualquier estado de desarrollo de la planta. Los síntomas se inician con un amarillamiento de las hojas el cual puede desaparecer durante un tiempo para luego resurgir de forma más pronunciada. Las nuevas hojas que brotan son más pequeñas o acucharadas de color verde claro. Al evolucionar la enfermedad el árbol muestra marchites y pérdida del follaje, generalmente no produce nuevos brotes y hay muerte descendente de ramas. Las raíces presentan coloración oscura y son quebradizas. En casos muy avanzados el sistema radicular queda totalmente destruido. La producción de frutos disminuye, tanto en cantidad como en tamaño, hasta desaparecer totalmente. La humedad del suelo es el factor ambiental fundamental que influye en el desarrollo de esta enfermedad; por lo tanto, se recomienda hacer las plantaciones en terrenos bien drenados o hacer drenajes artificiales con el fin de evitar estancamientos. Los árboles muertos o a punto de morir deben arrancarse de raíz, quemarse en el mismo lugar, para evitar movimiento de tierra de áreas infectadas o zonas libres de la enfermedad.</p>
<p><b>Mancha negra o cercospora</b></p>	<p><i>Cercospora purpura</i> Cooke</p>	<p>Ataca las hojas y produce lesiones pequeñas color marrón oscuro. Cuando el ataque es severo causa su caída quedando los árboles defoliados. En los frutos produce lesiones pequeñas, oscuras, de bordes irregulares y el resquebrajamiento de la corteza. Tanto las lesiones en las hojas como en el fruto facilitan la entrada para otros organismos como <i>Colletotrichum</i>.</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;">    </div> <p style="text-align: center;">a)                      b)                      c)</p> <p>a) <i>Colletotrichum gloeosporioides</i> en hoja; b) <i>Colletotrichum gloeosporioides</i> en fruto; c) <i>Cercospora purpura</i> Cooke</p>



<p><b>Mancha negra o antracnosis</b></p>	<p><i>Colletotrichum gloesporioides</i></p>	<p>Esta enfermedad es bastante corriente en aguacate. Penetra por lesiones viejas causadas por <i>Cercospora</i> o <i>mildiu</i>, tanto en las hojas como en los frutos. Ataca a los frutos cuando casi están para cosechar, reventando su cáscara.</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>a)</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>b)</p> </div> </div> <p>a) En hoja; b) En fruto</p> <p>En postcosecha, aparece cuando la fruta comienza a suavizarse, como manchas negras circulares, que se cubren de masas de esporas rosáceas en estadios más avanzados. La pudrición puede penetrar la pulpa e inducir pardeamiento y rancidez.</p> <p>Este es daño es la causa de enfermedad por hongos más importante, que además en la mayoría de los casos se trae desde la plantación. Este hongo reduce la calidad de la fruta en todas las etapas: durante el transporte, almacenamiento y la comercialización. Este y otros hongos son capaces de destruir cajas o incluso pallets enteros. Su crecimiento se ve favorecido por la alta humedad, fruta dañada y los frutos cuando tocan el suelo .</p> <div style="text-align: center;">  </div>
<p><b>Fusariosis</b></p>		<p>Esta enfermedad ataca el sistema radicular de los árboles en cualquier estado de desarrollo. Difiere de la pudrición de raíz en que el follaje se seca homogéneamente permaneciendo adherido por algún tiempo a las ramas. Para combatirla, es muy importante destruir troncos viejos en descomposición, evitar acumulación de tierra y materia orgánica sobre la base del tallo, evitar toda clase de heridas en tallos y raíces.</p>

Fuente: Elaborado a partir de información de: ICTA (2003); Velásquez (2006).

**5.2.2. Otras**

A continuación se mencionan algunas enfermedades con el microorganismo causante (ICTA, 2003):

Roña del aguacate (*Sphaceloma persea*)

Languidez o Marchitez por *Verticillum* (*Verticillum albo-atrum*)

Pudrición de la Raíz y Tronco (*Armillaria mellea*)

Pudrición Texana (*Phymatotrichum omnivorum*)

Pudrición de Raíz y cuello del tallo (*Rhizoctonia spp.*)

Pudrición del tronco y ramas (*Nectria galligena*, *Phytophthora citricola*)

Marchitez de puntas (*Glomerella cingulata*)



Podrición del Fruto: (*Phytophthora bohemeriae*)

Anillamiento del pedúnculo causada por varios hongos, bacterias y deficiencias nutritivas

Quemadura de Sol Sunblotch (Viroide Sunblotch del aguacate )

Agalla de la Corona (*Agrobacterium tumefaciens*)




Manchas Foliares (*Phyllachora grátisima*, *Pestalotia* spp., *Cercospora purpurea* y *Cephaleurus virensces* y otros patógenos)

**5.2.3. Enfermedades causadas por carencias**



El diagnóstico de la carencia de un determinado elemento es difícil de hacer; principalmente se basa en la observación del aspecto general del árbol y sobre todo de sus hojas o para mayor seguridad mediante un análisis de la tierra. Además es necesario que los oligoelementos se encuentren de forma asimilable para la planta considerando los límites entre exceso y deficiencia de los mismos (SICA, 1998).

Los principales síntomas de carencia que se presentan en las plantas son (tabla 9):

**Tabla 9 Enfermedades causadas por carencias**

Carencia	Síntomas
<p><b>Nitrógeno</b></p> 	<p>Se manifiesta en plantas poco desarrolladas, de aspecto enfermizo, hojas pequeñas de color verde pálido o amarillento o en la parte inferior y las de la base de la planta mueren prematuramente como si hubieran sido quemaduras por lo que es conocido como “golpe de sol”. La producción es deficiente y se caracteriza por la caída de las hojas.</p>
<p><b>Fósforo</b></p>	<p>Son árboles de porte bajo; hojas de color verde pálido, que adquieren tono purpúreo o bronceado en los bordes y ápice. Los frutos maduran lentamente, presentando malformaciones; por consiguiente, la fructificación es de bajo rendimiento.</p>
<p><b>Potasio</b></p>  	<p>Con la característica de ser un árbol de porte achaparrado. Hojas de un color blanco mortecino, amarillento o rojizo a partir de los bordes, que pardean fácilmente, mueren y se desprenden. Los frutos son pequeños y no se conservan bien. Por dentro presenta ennegrecimiento de los haces vasculares, por fuera se ve ennegrecido e la punta distal, como quemado.</p>
<p><b>Calcio</b></p>	<p>En ésta, las hojas jóvenes son amarillentas o negras enrolladas hacia el haz. La planta tiene</p>



	un aspecto de marchites, secándose en los bordes y en el ápice.
<b>Magnesio</b>	Las hojas se vuelven de color verde claro o amarillo pálido, el magnesio es un componente del pigmento verde, la clorofila; el color amarillento cambia a oscuro por necrosis de los tejidos.
<b>Azufre</b>	Toda la planta queda de color amarillo, incluso los brotes nuevos. La cosecha madura muy lentamente.
<b>Boro</b> 	Las hojas inferiores tienen un color verde natural, pero las superiores presentan un tono entre amarillo claro y púrpura. Los frutos tienen malformaciones y es de tamaño pequeño.
<b>Molibdeno</b>	Las hojas toman un aspecto grisáceo, se enrollan, se mustian y se secan.
<b>Zinc</b> 	Presentan hojas pequeñas de aspecto marmóreo, con manchas amarillas y zonas muertas pardas. Los frutos son bien redondos y pequeños.
<b>Cobre</b>	En ésta enfermedad, las hojas se mustian sin amarillear no tomar color pardo; las yemas se secan y caen.
<b>Hierro</b>	Las hojas presentan, en sus bordes, manchas pardas de necrosis, por lo que se seca el limbo y permanecen los nervios.
<b>Manganeso</b>	Se presenta necrosis de las hojas, conservándose los nervios.

**Fuente:** Elaborado a partir de información de: SICA (1998); Velásquez (2006).

## 6. Postcosecha

Es el periodo comprendido desde que la fruta es cosechada hasta su consumo. El objetivo del manejo postcosecha es alargar la vida útil de los productos, manteniendo su calidad por mayor tiempo (Velásquez de Klimo, 2006).



### **6.1 Cosecha**

En cuanto a la época de cosecha, se ha observado que la fruta cosechada anticipadamente requiere de un mayor tiempo para su maduración posterior. Además, es posible conservar esta fruta por un período más prolongado en buenas condiciones. Se ha encontrado que frutos cosechados inmaduros resultan de mala calidad y maduran en forma irregular. Es por lo anterior que resulta fundamental la determinación correcta del estado de madurez para cosechar, pudiendo con ello, obtener fruta de calidad y capaz de ser conservada por un tiempo prolongado (Opazo, 2000).

El porcentaje de materia seca tiene un alto grado de correlación con el contenido de aceite y se usa como índice de madurez en la mayoría de las áreas productoras de aguacate; el mínimo requerido de materia seca varía de 19 a 25%, dependiendo del cultivar (19.0% para 'Fuerte', 20.8% para 'Hass' y 24.2% para 'Gwen') (ICTA, 2003).

### **6.2 Índice de cosecha**

Como se mencionó anteriormente, durante el período de cosecha, el contenido de aceite aumenta mientras que el porcentaje de agua disminuye en forma prácticamente inversa por lo el criterio de determinación del índice de cosecha más aceptable es el contenido de aceite, pues es el que le otorga el sabor al aguacate (Opazo, 2000).

Basándose en lo anterior, se han estudiado los contenidos de aceite y humedad para algunos cultivares, determinando que los estimadores de mayor exactitud resultan ser ecuaciones de regresión simple a base del contenido de humedad, señalando, además, que existe una estrecha correlación entre la pérdida de peso del fruto y el número de días que demora el ablandamiento. Así determinó la siguiente ecuación de regresión para el cultivar Hass (Ec. 2):

$$\% \text{ aceite} = 48.428 - 0.52 (\% \text{ de humedad}) \dots \text{Ec. 2}$$

El mismo autor señala que el cultivar Hass presenta un rango óptimo de cosecha de 13% a 16%, ya que dentro de él alcanza la calificación de muy agradable a extremadamente agradable.

Aun cuando el porcentaje de aceite resulta ser el mejor indicador de la madurez del fruto, las técnicas para determinarlo son caras y laboriosas. Por lo anterior, la medición en forma directa del contenido de aceite ha sido reemplazada por la determinación del porcentaje en peso seco, debido a la lentitud y complejidad de la cuantificación del contenido de aceite (Opazo, 2000; Velásquez de Klimo, 2006).

Para la variedad Hass el estándar para el porcentaje de materia seca corresponde al 20.8% como mínimo.

### **6.3 Calidad**

En todas las categorías, a reserva de las disposiciones especiales para cada categoría y las tolerancias permitidas, los aguacates deberán: estar enteros; sanos, excluyendo los productos afectados por podredumbre o deterioro que





hagan que no sean aptos para el consumo; limpios, y prácticamente exentos de cualquier materia extraña visible; exentos de plagas y sus daños que afecten al aspecto general del producto; humedad externa anormal, salvo la condensación consiguiente a su remoción de una cámara frigorífica; cualquier olor y/o sabor extraños; daños causados por bajas temperaturas y finalmente tener un pedúnculo de longitud no superior a 10 mm, cortado limpiamente. Sin embargo, su ausencia no se considera defecto, siempre y cuando el lugar de inserción del pedúnculo esté seco e intacto (Norma del CODEX para el aguacate).

Algunos cultivares se dejan en el árbol por períodos prolongados después que han adquirido la madurez fisiológica o de cosecha. El almacenamiento en el árbol puede dar lugar al desarrollo de sabores desagradables o rancidez debido a sobremaduración. Los sabores desagradables también pueden desarrollarse cuando las frutas se cosechan en períodos de clima cálido (ICTA, 2003).

El calibre se determina por el peso del fruto, siendo el peso mínimo de los aguacates de 125 g. Para la clasificación por calibres, no se deberá tomar en cuenta un fruto dado con una desviación de un 2% en más o en menos respecto del código de calibre indicado (Tabla 10).

**Tabla 10. Calibre en relación al peso de aguacate.**

<b>Código del calibre</b>	<b>Peso (gramos)</b>
2	> 1220
4	781 – 1220
6	576 – 780
8	461 – 575
10	366 – 460
12	306 – 365
14	266 – 305
16	236 – 265
18	211 – 235
20	191 – 210
22	171 – 190
24	156 – 170
26	146 – 155
28	136 – 145
30	125 – 135

Fuente: Norma del CODEX para el aguacate.



De acuerdo con la Norma del Codex para el aguacate, éstos se clasifican en tres categorías (Tabla 11):

Tabla 11. Clasificación del aguacate por categorías.

Categoría	Definición	Tolerancias de calidad	Tolerancias de calibre
Categoría "Extra"	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Calidad superior.</li> <li>- Forma y color característicos de la variedad.</li> <li>- Libre de defectos, salvo defectos superficiales muy leves.*</li> </ul>	El 5%, en número o en peso, de los aguacates que no satisfagan los requisitos de esta categoría pero satisfagan los de la Categoría I o, excepcionalmente, que no superen las tolerancias establecidas para esta última.	Para todas las categorías, el 10%, en número o en peso, de los aguacates que correspondan al calibre inmediatamente superior o inferior al indicado en el envase.
Categoría I	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Buena calidad.</li> <li>- Color y la forma característicos de la variedad.</li> <li>- Podrán permitirse, los siguientes defectos leves*:               <ul style="list-style-type: none"> <li>- defectos leves de forma y coloración;</li> <li>- defectos leves de la cáscara (suberosidad, lenticelas ya sanadas) y quemaduras producidas por el sol; la superficie total afectada no deberá superar 4 cm<sup>2</sup>.</li> <li>- en ningún caso los defectos deberán afectar a la pulpa del fruto.</li> <li>- cuando haya pedúnculo, podrá presentar daños leves.</li> </ul> </li> </ul>	El 10%, en número o en peso, de los aguacates que no satisfagan los requisitos de esta categoría pero satisfagan los de la Categoría II o, excepcionalmente, que no superen las tolerancias establecidas para esta última.	
Categoría II	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Comprende los aguacates que no pueden clasificarse en las categorías superiores, pero satisfacen los requisitos mínimos especificados.</li> <li>- Podrán permitirse, los siguientes defectos*:               <ul style="list-style-type: none"> <li>- defectos de forma y coloración.</li> <li>- defectos de la cáscara (suberosidad, lenticelas ya sanadas) y quemaduras producidas por el sol; la superficie total afectada no deberá superar 6 cm<sup>2</sup>.</li> <li>- En ningún caso los defectos deberán afectar a la pulpa del fruto.</li> <li>- Cuando haya pedúnculo, podrá presentar daños.</li> </ul> </li> </ul>	El 10%, en número o en peso, de los aguacates que no satisfagan los requisitos de esta categoría ni los requisitos mínimos, con excepción de los productos afectados por podredumbre, magulladuras marcadas, o cualquier otro tipo de deterioro que haga que no sean aptos para el consumo.	

\* Podrán permitirse defectos leves, siempre y cuando no afecten al aspecto general del producto, su calidad, estado de conservación y presentación en el envase.

### 6.3.1 Temperatura óptima

La temperatura oscila entre 5-13°C (41-55°F) para aguacates verde-maduros (con madurez fisiológica o de cosecha), dependiendo del cultivar y de la duración a la baja temperatura y de 2-4°C (36-40°F) para aguacates con madurez de consumo (ICTA, 2003).

### 6.3.2 Humedad relativa óptima

La humedad óptima en un fruto de buena calidad es de 90 a 95% (ICTA, 2003).



### 6.3.3 Tasa de respiración

La tasa de respiración se muestra en la Tabla 12:

Tabla 12. Tasa de respiración en el aguacate

TEMPERATURA	5°C (41°F)	10°C (50°F)	20° (68°F)
mL CO <sub>2</sub> / kg·h	10-25	25-80	40-150

Fuente: ICTA (2003).

Para calcular el calor producido se multiplican los mililitros de CO<sub>2</sub> por un factor (Ec. 3 y 4):

$$\frac{mlCO_2}{kg \cdot h} * 440 \text{ para obtener Btu/ton/día... Ec. 3}$$

$$\frac{mlCO_2}{kg \cdot h} * 122 \text{ para obtener kcal/ton métrica /día... Ec.4}$$

### 6.3.4 Tasa de producción de etileno

Los frutos de aguacate no adquieren madurez de consumo en el árbol y la producción de etileno comienza después de la cosecha y aumenta considerablemente con la maduración a más de 100µL C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>/kg·h a 20°C (ICTA, 2003; Velásquez de Klimo, 2006).

### 6.3.5 Efectos del etileno

El tratamiento con 100 ppm de etileno a 20°C por 48 horas (frutas de estación temprana), 24 horas (frutas de estación media) o 12 horas (frutas de estación tardía) induce la maduración de consumo en 3-6 días, dependiendo del cultivar y del estado de madurez fisiológica. Los indicadores de madurez de consumo incluyen ablandamiento de la pulpa y cambios del color de la piel del verde al negro en algunos cultivares como el Hass. Los aguacates maduros (blandos) requieren de cuidado en su manejo para minimizar los daños físicos (ICTA, 2003; Velásquez de Klimo, 2006).

### 6.3.6 Efecto de las atmósferas controladas (AC)

La atmósfera controlada (AC) óptima (2-5% O<sub>2</sub> y 3-10% CO<sub>2</sub>) retarda el ablandamiento y los cambios del color de la piel y disminuye las tasas de respiración y de producción de etileno. La AC reduce el daño por frío (chilling injury) del aguacate. El aguacate Hass verde-maduro puede conservarse a 5-7°C (41-45°F) en 2% O<sub>2</sub> y 3-5% CO<sub>2</sub> por 9 semanas, y entonces madurarse en aire a 20°C

para alcanzar buena calidad. Se recomienda la eliminación del etileno de los almacenes de AC. Las concentraciones >10% CO<sub>2</sub> pueden incrementar el pardeamiento de la piel y pulpa y la generación de



sabores desagradables, especialmente cuando el O<sub>2</sub> se encuentra en concentraciones <1% (ICTA, 2003; Velásquez de Klimo, 2006).

7. Pérdidas postcosecha

7.1. Desórdenes fisiológicos.

Los desórdenes fisiológicos corresponden a una alteración de tejidos del fruto, no originados ni por patógenos ni por daños mecánicos. Pueden generarse en respuesta a un ambiente adverso, especialmente de temperatura o composición atmosférica, como a deficiencias nutricionales (principalmente el calcio) durante el crecimiento y desarrollo del fruto.

En el aguacate, existe una interacción entre tiempo y temperatura de almacenamiento en la incidencia de desórdenes fisiológicos asociados a daño por frío así como el almacenamiento a temperaturas inferiores a 10°C, pero mayores de 0°C por períodos relativamente largos, siempre provoca daños por frío (Opazo, 2000).

Las principales alteraciones fisiológicas durante el almacenamiento son: pardeamiento externo, pardeamiento de pulpa, manchas de la pulpa y pardeamiento vascular, todas ellas asociadas generalmente a daños por frío (Tabla 13).

Tabla 13. Desórdenes fisiológicos

Desorden fisiológico	Descripción
<b>Daño por Frío (Chilling Injury)</b>	Los principales síntomas externos en aguacates verde-maduros son picado (pitting) de la piel, escaldado y ennegrecimiento cuando se les mantiene a 0-2°C (32-36°F) por más de 7 días antes de transferirlos a las temperaturas para la maduración de consumo. Los aguacates expuestos a 3-5°C (37-41°F) por más de dos semanas pueden presentar oscurecimiento interno de la pulpa (pulpa grisácea, pulpa manchada, pardeamiento de los haces vasculares), problemas para madurar y aumento de la susceptibilidad al ataque de microorganismos patógenos. El momento en que el daño por frío comienza a desarrollarse y la severidad con que se presenta dependen del cultivar, región productora y estado de desarrollo (madurez fisiológica-madurez de consumo). Sin embargo, la refrigeración es la opción más practica para retardar el proceso natural de maduración y senescencia. Por ello se recomienda que el almacenamiento de aguacate bajo refrigeración no debe exceder 30 a 40 días para garantizar su calidad.
<b>Pardeamiento externo</b>	Es, tal vez, el síntoma más claramente asociado a daño por frío en los cultivares que en un estado de madurez normal presentan piel de color verde. En casos leves, se presenta como puntuaciones necróticas, y en daños severos, se presenta como manchas irregulares que con el tiempo se oscurecen hasta ponerse pardas o casi negras. En casos severos, las manchas abarcan gran superficie y adquieren consistencia coriácea. La mancha se caracteriza por estar claramente definida, presenta una depresión de la piel en el límite entre la zona afectada y la sana, se limita solamente a la piel y no penetra a la pulpa, y por último, aparece a los pocos días de estar sometida la fruta a temperaturas bajas. El desorden se manifiesta siempre en la parte distal del fruto, avanzando en estados posteriores hacia la zona peduncular.
<b>Pardeamiento de pulpa</b>	Es conocido también como pardeamiento interno, se puede originar como respuesta a una baja temperatura de almacenamiento, o como una reacción a una situación de aireación restringida. En esta anomalía, en la zona amarilla, se presenta un área de coloración difusa pardo grisácea o parda, extendiéndose desde la porción distal adyacente a la semilla, comprometiendo toda la pulpa en



	<p>casos severos. Al exponer el fruto cortado al aire se intensifica el pardeamiento, ocurriendo generalmente, sólo en frutos que han sido almacenados por un período prolongado. El pardeamiento de pulpa es esencialmente un desorden asociado al almacenamiento refrigerado, incrementándose el problema en fruta almacenada a 5.5°C cosechada tardíamente, o bien puede presentarse en cosechas tardías en fruta madurada directamente después de recolectada.</p>
<b>Manchas de la pulpa</b>	<p>Son el desorden que más denominaciones ha recibido: manchas grises, pardas, moteado extendido de la pulpa o pardo, correspondiendo muchas veces a distintas intensidades del mismo problema. En la zona amarilla de la pulpa, se presentan manchas claramente delimitadas, de color pardo o gris claro a pardo oscuro; algunas veces, su presencia puede visualizarse en forma inmediata al corte, aumentando la intensidad del pardeamiento con el tiempo de exposición al aire. Estas manchas se ubican asociadas a haces vasculares, los que presentan un pardeamiento mayor a los del resto de la pulpa, pero cuando el desorden adquiere mayor intensidad, algunas manchas confluyen originando grandes áreas pardas, asemejándose al pardeamiento de pulpa lo cual origina la confusión de términos.</p> <p>Puede manifestarse en forma irregular en toda la pulpa, en el extremo proximal o en forma preferencial en la zona distal y inedia del fruto. Estas manchas corresponden a un daño producido en las células que rodean los haces vasculares. Estas células, a diferencia de las del mesocarpo, se caracterizan por mantenerse activas, indiferenciadas y en división a lo largo de la vida del fruto, siendo el estado juvenil el que las haría más susceptibles a daños por bajas temperaturas.</p>
<b>Oscurecimiento vascular</b>	<p>Se describe también como pardeamiento u oscurecimiento de fibras, en donde los haces vasculares cambian su color de verde claro amarillento a pardo claro o negro . Los primeros síntomas, generalmente, aparecen en la porción distal del fruto como un punteado, pudiendo extenderse a lo largo de la pulpa en casos severos. Pueden presentarse con mayor intensidad en la zona distal y basal del fruto. El síntoma se hace visible cuando la fruta es cortada, pero luego de exponerse a temperatura ambiente se hace más pronunciado, asociándose, además, a un deficiente control de la temperatura.</p>

Fuente: Elaborado a partir de información de: ICTA (2003); Opazo, 2000; Velásquez (2006).

### **7.1.1. Bioquímica de los desórdenes fisiológicos.**

La capacidad de pardeamiento en muchos frutos está fuertemente ligada al nivel de fenoles y a la actividad de la enzima polifenoloxidasas (PFO), como también a la combinación de ambos factores. Así también, la diferencia en la velocidad de pardeamiento al cortar el fruto se ha relacionado con la actividad de la PFO y la concentración de fenoles.

En los frutos que presentan pardeamiento de pulpa durante almacenamiento refrigerado se observa una mayor concentración de fenoles totales y actividad de PFO; la presencia de los sustratos fenólicos es importante en la manifestación del pardeamiento de los aguacates, pues hay un mayor contenido de fenoles y actividad de PFO en la porción distal del fruto, relacionado con una mayor velocidad de pardeamiento de esta sección (Opazo, 2000).



#### 7.1.1.1. Enzima Polifenoloxidasa.

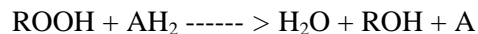
Esta enzima corresponde a una monooxigenasa que contiene cobre y es responsable de la mayoría de los pardeamientos en los vegetales. Es capaz de catalizar dos reacciones distintas que involucran oxígeno molecular: a) La o-hidroxilación de imonofenoles a odifenoles (actividad tirosinasa) y b) la subsecuente oxidación de odifenoles a quinonas (actividad catecolasa). Las quinonas, en presencia de oxígeno, son irreversiblemente oxidadas a melaninas, produciéndose un pardeamiento y la consecuente aparición de desórdenes fisiológicos (Opazo, 2000).

El grado de pardeamiento está positivamente correlacionado con el nivel y actividad de PFO en la fruta. El pH óptimo para la actividad de la PFO del aguacate oscila entre 5.5 a 6.5.

En cosechas tardías el aumento del contenido de fenoles favorece la susceptibilidad a los desórdenes fisiológicos (Opazo, 2000).

#### 7.1.1.2. Enzima Peroxidasa.

Las peroxidases constituyen un ubicuo grupo de enzimas, presentes en todos los vegetales superiores que han sido investigados y en los leucocitos. Suelen contener un grupo prostético hemo (ferriprotoporfirina), no obstante, también pueden utilizar otros grupos. Catalizan la siguiente reacción:



En la reacción anterior, el peróxido (ROOH) se ve reducido a la vez que resulta oxidado un donador de electrones (AH<sub>2</sub>), pudiendo operar como tal el ascorbato, los fenoles, las aminas y otros compuestos orgánicos. El producto de la oxidación posee, en muchos casos, una coloración intensa, y en ello se basa la determinación colorimétrica de la actividad de la peroxidasa.

La peroxidasa es capaz de oxidar los substratos fenólicos a quinonas, habiéndose encontrado en paltas con síntomas severos de pardeamiento de pulpa mayor actividad de esta enzima. La actividad de la peroxidasa disminuye en el proceso de maduración, a medida que la fruta ablandó. Por lo que la actividad de la peroxidasa en el mesocarpo de la fruta, no tiene un rol importante en el desarrollo de daño por frío. Sin embargo, es posible que las peroxidases intervengan en otras reacciones oxidativas, catalíticas y de hidroxilación (Opazo, 2000).

Dentro de estas últimas, las peroxidases pueden hidroxilar tirosina, fenilalanina, ácido benzoico, ácido salicílico y p-cresol, entre otros. Con este último se puede formar como producto 4- metil catecol, sustrato para la PFO. Los procesos fisiológicos que conducen al oscurecimiento vascular del fruto parecerían ser distintos a los de los otros pardeamientos; por ser la PFO una enzima que se ubica exclusivamente en los plastidios, los tejidos que carecen de ellos (vasos cribosos y traqueidas) no presentarían actividad de PFO. En tanto, se ha demostrado que los tejidos vasculares poseen alta actividad de la peroxidasa (Opazo, 2000).

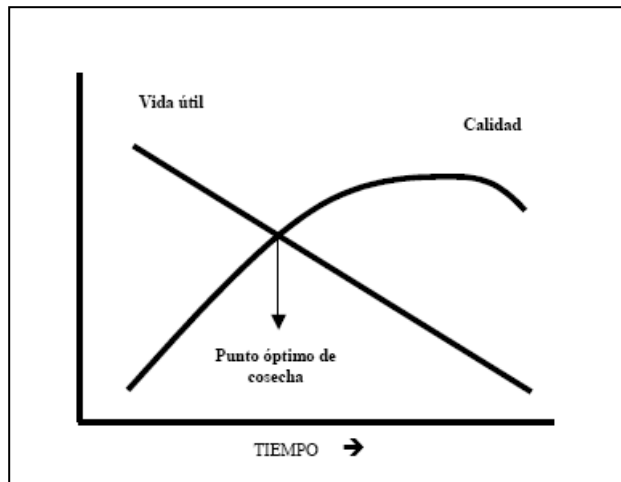


## 7.2. Fisiología de postcosecha.

La maduración de los productos vegetales es el proceso que sigue al desarrollo; se presenta cuando se ha dado la formación completa de un organismo, cuando sus células en tamaño y funciones han sido definidas y tiene los suficientes elementos bioquímicos para funcionar de manera correcta.

La maduración se evidencia con diversos cambios en los productos. Esos cambios han sido interpretados por el ser humano como señal de una calidad para consumo; es así como los gustos y preferencias de los consumidores definen en sentido práctico (comercial) la madurez de un producto, aunque su estado puede ser distinto de la función del producto en la naturaleza. Esto define en varios aspectos la relación del producto con su vida útil, período comercial en el cual el producto puede permanecer en buenas condiciones de calidad bajo almacenamiento (Velásquez de Klimo, 2006).

Una vez que ocurre la maduración se inicia el envejecimiento de los tejidos (senescencia), lo cual se caracteriza por pérdida del contenido celular, oscurecimiento de los tejidos por oxidación, deformación debida a pérdida de turgencia o jugos, pudriciones, etc (Figura 17).



**Figura 17 Cambios en el desarrollo del producto.** Fuente: Marín (2001).

Al modificarse la fisiología del producto, la maduración puede adquirir distintos matices (Marín, 2001):

- a) Madurez Fisiológica: el producto se encuentra totalmente desarrollado y al cosecharlo cuenta con todos los elementos bioquímicos que le permitirán sufrir los cambios propios del proceso.
- b) Madurez de Cosecha: Es el momento en el que el producto ha alcanzado una serie de cualidades aparentes (tamaño, color, forma) con las que puede comercializarse.



- c) Madurez Comercial: el grado con el cual el producto es comúnmente comercializado, pudiendo haber sido objeto de acondicionamiento. En esta etapa el consumidor reconoce los atributos que definirán si el estado del producto le satisface.
- d) Madurez de Consumo-Uso: ocurre cuando el material está listo para consumirse, pues ha reunido características de sabor, color, aroma, textura, capacidad nutricional, que generan satisfacción.

El aguacate es un fruto climatérico, por lo cual, la maduración conlleva a cambios en color, aromas, textura, etc.

### 7.2.1. Patrón respiratorio y maduración.

La respiración de los frutos se ha considerado como un índice de la actividad fisiológica y vida potencial de almacenaje. Todas las células vivas respiran y la energía producida por este proceso es necesaria para el trabajo celular como síntesis de sustancias, formación y mantenimiento del protoplasma, membranas y paredes celulares. Como consecuencia de su alta tasa respiratoria, el aguacate, luego de ser cosechado, sufre un rápido deterioro, lo cual lo hace muy perecible. Este fuerte incremento respiratorio asociado con la maduración en frutos cosechados es conocido como alza climatérica, y el aguacate no puede ser consumido antes de la ocurrencia de este fenómeno, además, el incremento en la respiración es precedido de un máximo en la producción de etileno (Opazo, 2000).

En la variedad Hass, el climaterio ocurre a los 13 días de cortado el fruto, alcanzando un valor de 122 mg CO<sub>2</sub>/kg/hr y una tasa respiratoria de 4.400 a 6.600 BTU/ton/día a 15°C.

El ablandamiento del fruto se produce luego del alza climatérica de la respiración, variando el intervalo entre el climaterio y ablandamiento según la temperatura. Cuanto más tiempo pase para ser cosechado, menor puede ser el tiempo necesario para que se ablande, pudiendo ocurrir su "peak" climatérico dos a cuatro días después de la cosecha cuando es almacenado entre 15°C y 16°C (Opazo, 2000).

Por esta razón, se encuentra el ablandamiento de la pulpa muy ligado al proceso de maduración en el aguacate. Durante su ocurrencia, se producen cambios de color, modificación en el ritmo de producción de etileno, modificación en la permeabilidad de las membranas, cambios en la composición de los hidratos de carbono, modificaciones en los ácidos orgánicos y disminución a la resistencia de enfermedades, algunas de las cuales conducen, al final, a una putrefacción. Así el proceso de ablandamiento de aguacate está asociado a incrementos en la actividad de enzimas hidrolíticas como poligalacturonasa, ácido fosfatasa y celulasa. La descripción de los cambios que sufre el aguacate durante la maduración se describen en la Tabla 14:





Tabla 14. Cambios durante la maduración del aguacate.

Cambios	Descripción
<i>Estructurales</i>	
Pared Celular	La laminilla media comienza a desaparecer, removiendo la pectina de la matriz de las membranas celulares. Comienza una pérdida de la organización de la pared celular y la densidad disminuye. Finalmente las paredes desaparecen casi totalmente en la fase postclimática,
Los cloroplastos, núcleo, vacuola y ribosomas	No se alteran durante la maduración.
Mitocondria	Se alarga debido a la creciente demanda energética durante la maduración.
Retículo endoplásmico	Tiene cambios profundos aumentando de tamaño, y al igual que los ribosomas se encuentra asociado o fusionado con el citoplasma.
<i>Químicos</i>	
Etileno	Con su producción se inicia una serie de cambios bioquímicos marcando el cambio entre crecimiento y senescencia, mediante un aumento en la respiración del fruto seguido de la madurez. Se tiene un aumento en la síntesis del etileno de 100 a 700 ppm
Lípidos	Aumenta el porcentaje de sustancias grasas y ácidos grasos libres de 22.1 a 25.5% en base húmeda. Índice de Yodo: aumenta de 76.5 a 99.7% Saponificación: 167.6 a 190.1% Materia insaponificable: 1.04 a 2.10 %
Ácidos grasos	El ácido oleico es el de mayor proporción y aumenta conforme el fruto madura, seguido por el palmítico y linoleico.
Azúcares	Desaparecen con la maduración del fruto al igual que la pectina insoluble; se utilizan como combustible en la respiración. La protopectina es un macropolímero que se encuentra ligado a otras cadenas poliméricas a través de puentes de calcio y unido a otros azúcares, es el precursor insoluble de la pectina que va degradándose durante la maduración, lo cual está directamente correlacionado con el ablandamiento del fruto. La degradación de hidratos de carbono poliméricos como sustancias pépticas y hemicelulosas, debilita las paredes celulares y las fuerzas cohesivas que mantienen a las células unidas. En etapas iniciales mejoran la textura pero finalmente la estructura vegetal se desintegra.
Ácidos orgánicos	Durante la maduración son respirados o convertidos en azúcares. Al ser una reserva energética, su contenido disminuye en el periodo de actividad metabólica máxima.
Compuestos nitrogenados	Durante la senescencia aumenta el nivel de aminoácidos libres debido a la degradación de enzimas y un descenso de la actividad metabólica.
Color	Pérdida del color verde en la cáscara como consecuencia de la degradación de la clorofila por cambios en el pH como consecuencia de fuga de ácidos orgánicos de la vacuola, el desarrollo de procesos oxidativos y la acción de clorofilasas.
Calcio	
<i>Enzimas</i>	
Celulasa	Mayor componente en las paredes celulares, relacionada con el ablandamiento del fruto en las primeras etapas de la maduración.
Poligalacturonasa	Responsable del ablandamiento del fruto en etapas finales de la maduración mediante depolimerización de la pectina.
Pectinmetilesterasa	Su actividad disminuye durante la maduración del aguacate, su función está ligada a la pectina demetilada que funciona como sustrato para la poligalacturonasa que causa el corte hidrolítico de la pectina.

Fuente: Elaborado a partir de información de: Salunkhe y Desai (2000); Wills y Lee (1977).



## 8. Control de insectos

Un tratamiento a baja temperatura (1°C por 14 días) puede ser tolerado sin daño por frío si los aguacates se acondicionan primero por 12-18 horas a 38°C .

Los aguacates no toleran los tratamientos por calor y/o las atmósferas controladas que se requieren para el control de insectos (ICTA, 2003; INFOAGRO, 2008; Universidad de Davis 2008).

## 9. Pérdidas postcosecha: Daños mecánicos

Muchos daños se originan o incrementan debido a un inadecuado manejo de las frutas desde el lugar donde son cosechadas y durante el transporte a centro de acopio o planta empacadora. El daño por fricción, es caracterizado por una oxidación del tejido que hace declinar de la calidad de la fruta y se vuelve necrótico. Este es uno de los problemas más frecuentes durante la cosecha, se estima que sucede en un 78% de las frutas.

Los daños mecánicos aceleran la pérdida de agua e interrumpen el arreglo superficial de los tejidos permitiendo un intercambio de gases con mayor rapidez al cortar la capa protectora (cáscara) de la fruta y exponer el tejido (pulpa) directamente al ambiente, así la capacidad de cicatrizar y de producir sustancias antifungosas disminuye a medida que el aguacate madura.

Los daños son más notorios a lo largo del proceso de empacado, principalmente si hay un manejo inadecuado que puede afectar un gran número de frutos de excelente calidad cuando están en el árbol. El daño por fricción antes de la cosecha causado por hojas y ramas, durante el crecimiento puede ser desde un 2% hasta un 35% y éste se puede incrementar en la empacadora desde un 10% hasta un 62% (Velásquez, 2006).



## VI. Estado del Arte Tecnológico

Estado del arte hace referencia al nivel más alto de desarrollo tecnológico conseguido en un momento determinado sobre cualquier aparato, técnica o campo científico y además ha sido publicado, sirviendo como base teórica para avances posteriores; de acuerdo con la expresión inglesa *state of the art technology*, se traduce como “tecnología de punta”, es decir, todos aquellos desarrollos de última tecnología realizados a un producto, que han sido probados en la industria y han sido acogidos y aceptados por diferentes fabricantes (Wikipedia 2009).

Un escrito técnico del estado del arte resume y organiza los resultados de investigaciones recientes de forma clara, integrando los aspectos relacionados en un campo específico; en éste se asume un conocimiento general del área, se enfatiza la clasificación de la literatura existente desarrollando una perspectiva del área y evaluando las principales tendencias de desarrollo.

### 1. Tecnología para la conservación del aguacate

#### 1.1. Cosecha

La fruta se debe cortar con una madurez fisiológica adecuada, lo cual corresponde a un porcentaje de materia seca del 22 al 28%, humedad de 72 % a 78 % y un contenido de aceite de 18 a 24 % . Para determinar estas condiciones de madurez se realizan pruebas en laboratorio y en dado caso que no se cumplan, se realizan pruebas semanales de madurez, en base a cambios de sabor, color, y textura de la pulpa, cosechando de 4 a 5 frutos dejándolos madurar y así decidir el momento óptimo para la cosecha (ICTA, 2003).

La cosecha del aguacate puede ser manual, mecanizada o semimecánica mediante el uso de una vara con una cuchilla afilada con una bolsa de lona para recolectar el aguacate. Durante la cosecha, los frutos no deben sufrir daños mecánicos como rozaduras o golpes. El aguacate se corta a ras del pedúnculo, sin quitarlo completamente para evitar la contaminación por hongos y así prolongar la vida útil de la fruta. Al finalizar la etapa de corte, se llenan cajas de plástico para su transporte al centro de acopio el mismo día de corte, éstas, no deben sobrepasar su capacidad de un 90% al igual que los remolques o vehículos que las transportan para evitar de esta forma algún daño en la fruta (Figura 18 y 19) (Velásquez de Klimo, 2006).



**Figura 18. Corte de aguacate con vara**



**Figura 19. Cosecha mecanizada de aguacate**

Fuente: Velásquez de Klimo (2006)

### 1.2. Operaciones básicas después de la cosecha

Al llegar al centro de acopio o empacadora, se verifican los certificados de origen de la fruta y se organizan las cajas de manera que no se mezclen los lotes, para realizar muestreos en control de calidad como: fitosanitarios y de apariencia. Los primeros se realizan para la detección de plagas cuarentenarias, así como otras plagas y enfermedades; en cuanto a la apariencia, se valoran aspectos que influyen en la calidad con manchas, decoloraciones, roeduras, golpes, etc (Figura 20 y 21) (Velásquez de Klimo, 2006).



**Figura 20. Muestreo fitosanitario**



**Figura 21. Aguacate muestreado**

Fuente: APROAM (2008); Velásquez de Klimo (2006)

Para disminuir el calor de campo, la fruta se somete a un preenfriamiento por un período mínimo de 24 horas en un cuarto a una temperatura máxima de 10 °C a 12 °C. Posteriormente, los frutos son lavados con agua y una solución fungicida en dosis de 0.5 a 1 gramo por litro de agua con la finalidad de prevenir enfermedades. Siguiendo un secado y cepillado del fruto para darle una apariencia brillante (Figura 22 y 23). Actualmente se



tiene la tendencia de no lavar el aguacate para evitar la creación de condiciones que promuevan el daño de patógenos (ICTA, 2003; Velásquez de Klimo, 2006).



**Figura 22. Lavado de aguacate**



**Figura 23. Cepillado de aguacate**

Fuente: APROAM (2008); Velásquez (2006)

La fruta se somete a una primera selección separando los frutos que no reúnan los requisitos fijados, como son: frutos enteros, maduros, sanos, sin daños por frío o físicos, aunque éstos son variables dependiendo al mercado al cual serán destinados. La clasificación de la fruta, el siguiente paso, se realiza por diámetro o por peso (calibre), según el sistema con el que opere la maquinaria empleada (Figura 24 y 25) (ICTA, 2003; Velásquez de Klimo, 2006).



**Figura 24. Primera selección del aguacate**



**Figura 25. Aguacates en línea de Clasificación**

Fuente: APROAM (2008); Velásquez de Klimo (2006)

Durante el empaclado se realiza una segunda selección por la apariencia del fruto. Las cajas individuales pasan al proceso de palatizado los cuales se consideran como la unidad de embalaje para el transporte. El número de cajas por pallet varía entre empacadores entre 200 cajas de 4 kilos a un número menor cuando son cajas de 6 kilos.



Debido a que el aguacate es una fruta muy delicada, para la comercialización deberán utilizarse cajas de cartón especialmente diseñadas para ello (ICTA, 2003; Velásquez de Klimo, 2006).

Los pallets se almacenan en cuartos refrigerados por un período de 8 a 12 horas para un preenfriamiento a una temperatura de 4.5 a 5.5° C, para después ser llevados a una cámara de conservación a una temperatura de 5.5 a 6.5° C, donde permanecerán hasta que sean cargados al medio de transporte. Dependiendo del mercado al cual es destinado se puede manejar una temperatura de almacenamiento de 7 a 10° C, considerando una Humedad Relativa de la cámara de refrigeración de 80 a 90%. Cuando el destino de la fruta es para exportación, la mejor opción de almacenamiento son las atmósferas controladas para mejorar la vida de ésta (Figura 26) (ICTA, 2003; Velásquez de Klimo, 2006).



**Figura 26. Pallets dentro del cuarto refrigerado en la etapa de preenfriamiento .** Fuente: Velásquez de Klimo (2006)

### 1.3. Transporte

El control de la temperatura es crítico durante el transporte a largas distancias. La carga debe apilarse para permitir una circulación adecuada de aire de forma que elimine el calor que produce la mercancía así como el calor que entra del aire exterior y de la carretera. Los vehículos de transporte deben estar bien aislados para mantener ambientes fríos en el fruto, así como ventilados para permitir el movimiento de aire a través de las mercancías. El producto debe ser apilado durante el transporte de forma que se minimicen los daños y además debe estar apuntalado y bien asegurado. Un vehículo abierto puede cargarse de forma que el aire pase a través de la carga, refrescando el producto cuando el vehículo se mueve (Kitinoja y Kader, 1996).

Para transportar los frutos de forma adecuada y evitar daños, se utilizan canastas plásticas para depositar la fruta además, se recomienda movilizar el producto en horas tempranas para que no sufra daños por calor, cubrirlo con materiales frescos para protegerlo de la luz solar o la lluvia de igual forma el transporte debe ir cubierto por una lona permitiendo la ventilación para evitar la acumulación de etileno y calor. Además, es importante verificar la



limpieza del mismo, así como contar con malla contra insectos y candado de seguridad para evitar cambios en la temperatura y daños por plagas, éste transporte debe ser exclusivo para la fruta (Méndez, 2007; Velásquez de Klimo, 2006).

El transporte de los aguacates, debe realizarse en frigoríficos a temperaturas que no deben ser inferiores a los 4.5 °C ni superiores a los 10° C. Los aguacates conservados a temperaturas inferiores a 4.5°C suelen sufrir alteraciones: su color cambia a pardo y a negro, y el sabor de la pulpa y el olor se vuelven desagradables (Figura 27) (SICA, 1998).

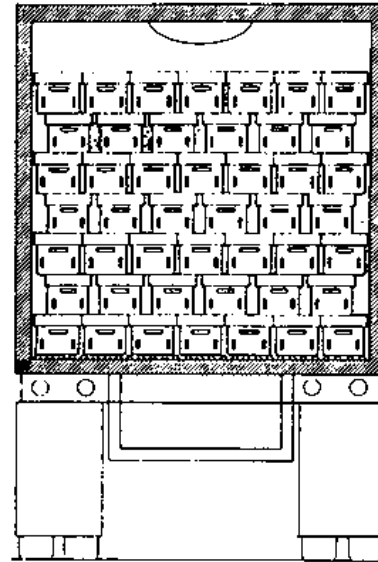


Figura 27. Transporte del aguacate y acomodo de las cajas. Fuente: Kitinoja y Kader (1996); Méndez (2007)

### 1.3.1. Remolques refrigerados

Las características del interior de un remolque refrigerado afectan la capacidad para mantener las temperaturas deseadas durante el transporte. Los operarios deben inspeccionar el remolque antes de cargarlo, revisando puntos como: el sellado de puertas, daños en puertas y paredes, instalaciones adecuadas, dimensiones y limpieza del interior del transporte.

Para un control óptimo de la temperatura durante el transporte, los remolques refrigerados necesitan un aislamiento, una gran capacidad de ventilación y un conducto de distribución de aire. En la siguiente figura (Figura 28), se muestran algunas de las características deseadas en un transporte refrigerado:

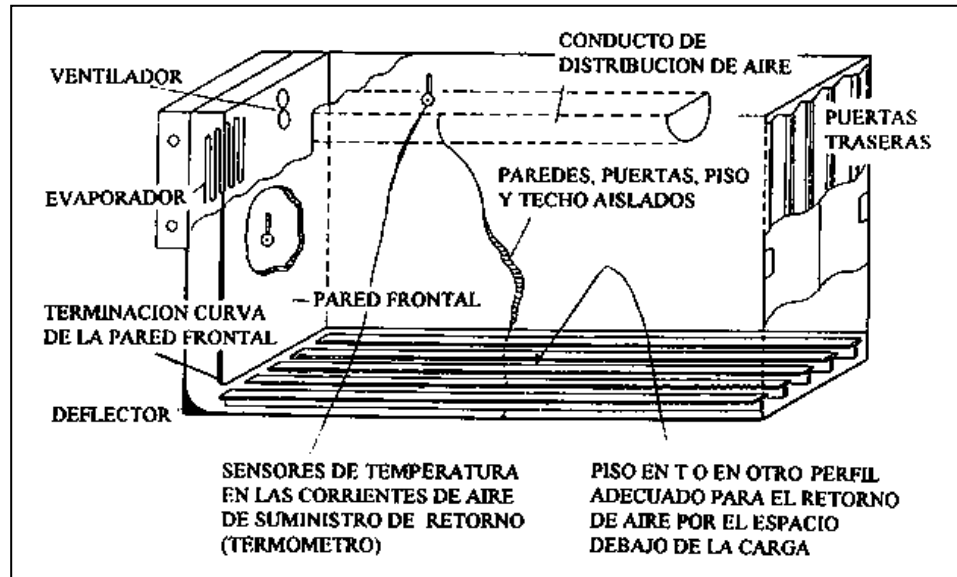


Figura 28. Características de un transporte refrigerado. Fuente: Kitinoja y Kader (1996)

#### 1.4. Almacenamiento

Como ya se ha mencionado anteriormente, el momento óptimo de cosechar los aguacates es cuando tienen su máximo contenido de aceite con niveles del 15%, momento en el que aún no están completamente maduros, alcanzando su madurez durante un periodo de siete días a temperatura ambiente (Olaeta *et al.*, 2003; SICA, 1998).

Para mantener los frutos bajo condiciones de almacenamiento que aseguren su conservación y calidad final, se deben almacenar bajo un sistema de conservación refrigerada a 6°C con un humedad relativa del 80-90% y por un periodo de tiempo no superior a los 30 días (Olaeta *et al.*, 2003).

##### 1.4.1. Refrigeración

Durante el periodo entre la cosecha y el consumo, el control de temperatura es el factor más importante para mantener la calidad de los productos. La conservación del producto a la temperatura más baja posible aumentará la vida útil del mismo, ya que las temperaturas bajas disminuyen la tasa de respiración y la sensibilidad al etileno, reduciendo además la pérdida de agua (Kitinoja y Kader, 1996).

El tiempo que se tarda en adquirir la completa madurez debe alargarse lo máximo posible mediante conservación refrigerada, de tal forma que los frutos lleguen al mercado sin haber alcanzado el completo grado de madurez, conservando la pulpa aún consistente. Esto se consigue mediante una adecuada conservación y transportación de los aguacates a temperaturas que no deben ser inferiores a los 4.5° C ni superiores a los 10° C, en atmósfera con un 85% de humedad y, de ser posible, con un porcentaje de anhídrido carbónico del 3%, superior al normal de la atmósfera. En estas condiciones los aguacates se conservan bien sin madurar completamente hasta 25 días (SICA, 1998).





De acuerdo la Universidad de California citada por Velásquez de Klimo (2006), las temperaturas óptimas para el almacenamiento del aguacate se encuentran en la siguiente tabla (Tabla 15):

**Tabla 15. Temperaturas de Almacenamiento del Aguacate**

Temperatura	Condiciones
5-13° C (41-55° F)	Verde-maduros, dependiendo del cultivar
2-4° C (36-40° F)	Maduros, HR óptima 90-95%
3-7° C (37-45° F)	Fuerte y Hass, vida de anaquel de 4 a 8 semanas
4° C (40° F)	Lula y Booth, vida de anaquel de 4 a 8 semanas

Fuente: Velásquez de Klimo (2006).

Para evitar una rápida maduración, el aguacate no debe almacenarse con mangos, fresas, plátanos, tomates o cualquier fruta que cambie de color rápidamente (Velásquez de Klimo, 2006).

#### **1.4.1.1. Enfriamiento en cámara refrigerada convencional**

La cámara refrigerada es un método relativamente económico pero lento para el enfriamiento útil cuando se dispone de electricidad para la refrigeración mecánica. Cuanto mayor sea el área del serpentín del refrigerador, menos humedad perderá el producto a medida que se enfría.

Es importante dejar un espacio adecuado entre las unidades de carga dentro de la cámara de refrigeración para que el producto se enfríe lo más rápidamente posible. Las pilas de producto deberán ser estrechas, aproximadamente la anchura de una tarima. El aire circula en la cámara sobre las superficies y a través de cualquier espacio abierto de forma que el entrado desde el exterior de las pilas hacia el centro es principalmente por conducción.

Una cámara de enfriamiento puede construirse usando hormigón para el piso y espuma de poliuretano como aislante. La construcción del almacén en forma de cubo reducirá el área de la superficie por unidad de volumen del espacio de almacenamiento, disminuyendo así los costes de refrigeración y construcción (Figura 29). Todas las juntas deberán estar reforzadas y la puerta deberá tener un sello de caucho (Kitinoja y Kader, 1996).

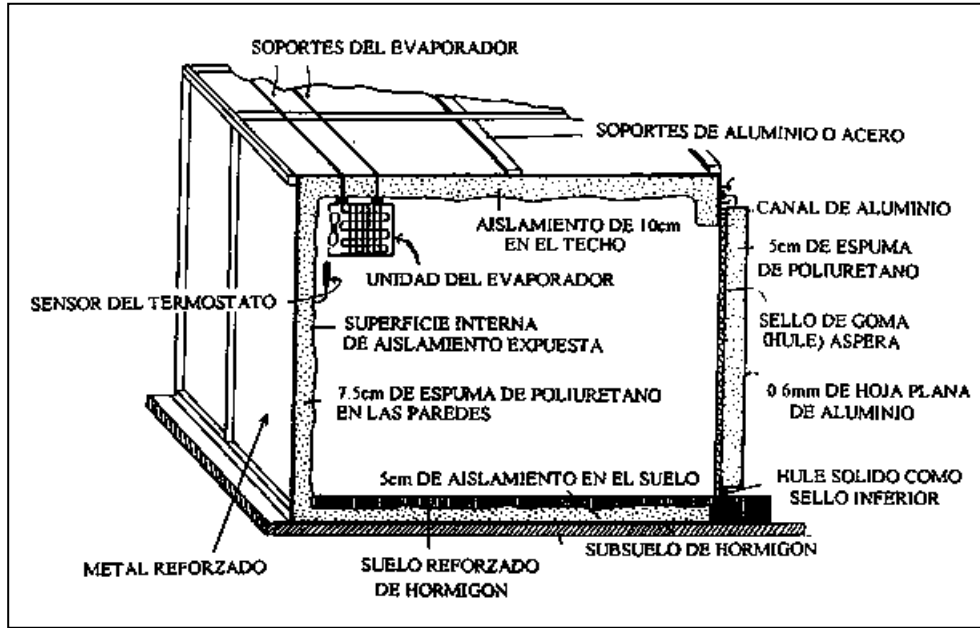


Figura 29. Cuarto de enfriamiento para frutas y hortalizas. Fuente: Kitinoja y Kader (1996)

#### 1.4.1.2. Enfriamiento por aire forzado

En el enfriamiento por aire forzado se hace circular el aire a través del interior de los recipientes que contienen el producto acelerando la tasa de enfriamiento de cualquier producto. Muchos tipos de enfriadores de aire forzado pueden diseñarse para mover el aire húmedo y frío sobre los productos (Figura 30) (Kitinoja y Kader, 1996).

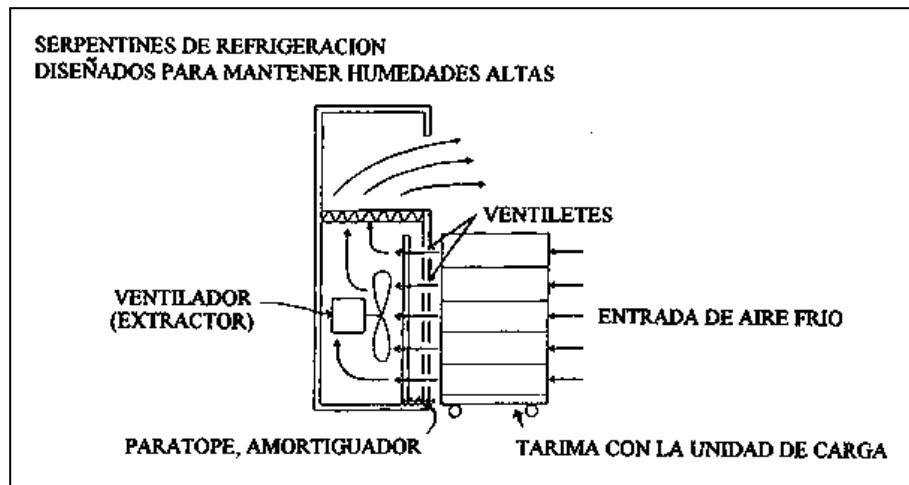


Figura 30. Enfriador de aire forzado de pared fría. Fuente: Kitinoja y Kader (1996)

Un enfriador portátil de aire forzado puede construirse usando una lona o una lámina de polietileno. La lona se enrolla sobre la parte superior e inferior de las cajas, apiladas sellando la unidad y forzando el aire a pasar por las aberturas de ventilación laterales (las aberturas de ventilación deberán ocupar al menos el 4% del área de la



superficie de cada caja) de las cajas que se apilan contra un extractor de aire. Esta unidad esta diseñada para ser usada dentro de una cámara refrigerada de almacenamiento (Figura 31) (Kitinoja y Kader, 1996).

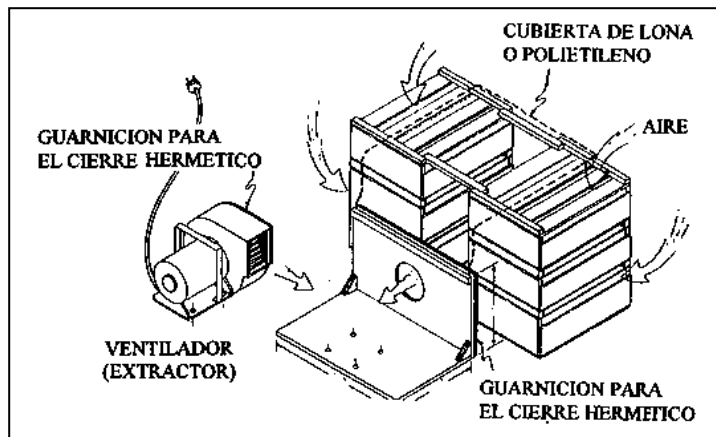


Figura 31. Enfriador portátil de aire forzado. Fuente: Kitinoja y Kader (1996)

#### 1.4.2. Atmósferas controladas.

El almacenamiento en atmósferas controlada se utiliza como suplemento de un control adecuado de temperatura y humedad relativa. A continuación se muestra un modelo de almacén de A.C. a pequeña escala. Cada componente está rotulado (Figura 32) (Kitinoja y Kader, 1996).

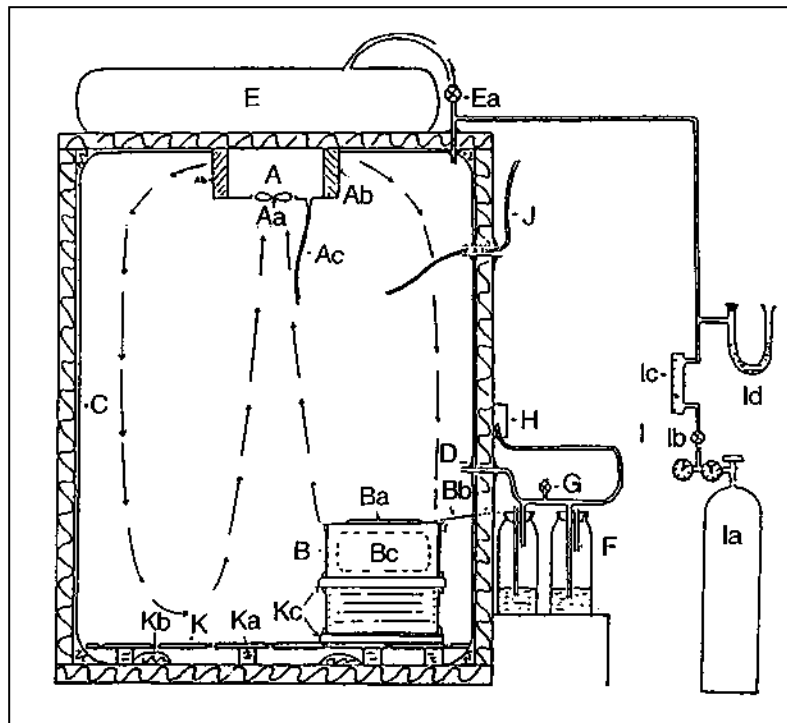


Figura 32. Modelo de almacén de AC a pequeña escala. A- Evaporador, Aa- Ventilador, Ab- Serpentín, Ac- Descongelador. B- Lavador, Ba- Ranura, Bb- Control del lavador, Bc- Cal. C- Poliuretano espumoso, D- anillo con tubo de reborde interior, E- Bolsa de respiración, Ea- Válvula de entrada, F- Válvulas automáticas de seguridad, G- Válvulas manuales de seguridad, H- Marcador de presión diferencial, I- Sistema de purga de nitrógeno, Ia- Cilindro de nitrógeno, Ib- Válvula medidora, J- Conducto de muestreo, K- Suelo falso, Ka- "2x4", Kb- Suelo sellado de poliuretano, Kc- Defensa. Fuente: Kitinoja y Kader (1996)



La temperatura recomendada para el almacenamiento del aguacate *Persea americana* Mill. cv. Hass es de 5 a 7°C. La respuesta a la maduración del aguacate de postcosecha a varias condiciones de almacenamiento ha sido estudiada para determinar el potencial de extensión de vida de postcosecha. De acuerdo con Faubion *et al.* (1992), la fruta almacenada a 5°C se reblandece y desarrolla severos daños por el frío después de 9 semanas. El almacenamiento con Atmósfera Controlada (AC) demora este efecto en el mismo tiempo. La exposición continua de Etileno (1 o 10 ppm) en AC incrementa fuertemente el reblandecimiento y los daños por frío. El tratamiento de shock de Dióxido de Carbono (Oscilación entre 10-30% durante 3 días) no ha sido efectivo manteniendo la calidad de la fruta.

Se han probado mezclas de 1, 2 y 4% de oxígeno con 2.5, 5.0, 7.5 o 10.0% dióxido de carbono no mostrando diferencias significativas en los frutos, siendo en todos los casos más firmes después de 9 semanas.

En cuanto a los daños por frío manifestados en decoloración de la pulpa y decoloración vascular, fueron reducidos significativamente por la combinación de bajo oxígeno y alto dióxido de carbono.

Sin embargo una exposición continua al etileno en atmósferas controladas puede tener efectos dramáticos en los daños por frío. Ambos, 1 y 10 ppm de etileno incrementaron significativamente decoloración vascular y de pulpa en la fruta almacenada en comparación de la fruta almacenada en AC sin etileno. La fruta almacenada en 10 ppm de etileno más la AC tuvieron condiciones pobres después de 9 semanas comparadas con la otra fruta (Faubion *et al.*, 1992).

### **1.5. Tratamientos postcosecha**

#### **1.5.1. Atmósferas modificadas**

El empaquetado en atmósfera modificada es una tecnología que combina el cambio de composición de la atmósfera que rodea al alimento con las características de respiración de la fruta y la permeabilidad de las películas. (Carreño *et al.*, 2006).

El envasado en atmósfera modificada ha sido considerado como un factor de conservación nuevo e imprescindible en el procesado mínimo de productos vegetales. Consiste en envasar el producto bajo films plásticos con una permeabilidad definida y se basa en cambiar las condiciones gaseosas del entorno del producto como consecuencia de su metabolismo y de la barrera semipermeable que supone el envase plástico. El principio en el que se basa el envasado en atmósferas modificadas puede ser conseguido de forma pasiva, mediante la utilización de materiales de envasado que presenten una permeabilidad adecuada, o de forma activa utilizando una mezcla de gases junto con un envase también permeable.

El objetivo de ambos procesos es crear un balance óptimo de gases dentro del envase, en el cual la intensidad respiratoria del producto vegetal sea lo más baja posible y que por otro lado, los niveles de oxígeno y de dióxido de carbono no sean perjudiciales para el mismo (aparición de procesos anaerobios). En general, el objetivo es



alcanzar una composición de gases con efecto antimicrobiano de 8-10 % CO<sub>2</sub> , 2-5% O<sub>2</sub> y el resto de nitrógeno (De Ancos *et al.*, 2006).

Existen muchos factores que pueden afectar la vida útil de los alimentos vegetales envasados mediante esta técnica: intensidad respiratoria, gases en el interior del envase, relación entre el volumen del envase y el peso del producto vegetal; la naturaleza del envase (tipo de film, permeabilidad, etc.); la temperatura de almacenamiento y distribución del producto, el tipo de proceso al que ha sido sometido el material vegetal. Todos estos factores están muy íntimamente relacionados entre sí. La intensidad respiratoria depende de la temperatura de almacenamiento y distribución, el procesado (cortado, pelado, la utilización de cuchillos afilados, el higienizado con cloro), el tipo de producto vegetal (variedad, estado fisiológico, prácticas de cultivo y la historia del producto (almacenamiento en frío o no de la materia prima), la relación entre el oxígeno y dióxido de carbono dentro del envase, y la concentración absoluta de oxígeno, siendo los dos últimos son los que tienen un mayor efecto en la vida útil de los productos (De Ancos *et al.*, 2006).

### **1.5.2. Tecnologías emergentes**

#### **1.5.2.1 Películas comestibles**

Las películas y recubrimientos comestibles y biodegradables representan una alternativa de empaque sin costos ambientales. Aunque no se pretende el reemplazo total de películas de empaque sintéticas, se tiene el potencial de reducir considerablemente estos materiales. Los materiales que se emplean para la formación de películas y recubrimientos comestibles y biodegradables son proteínas, lípidos y polisacáridos (Miranda *et al.*, 2003).

Los polisacáridos solubles en agua son polímeros de cadena larga que se disuelven o dispersan en agua confiriendo un efecto viscoso y son comúnmente usados en alimentos como espesantes debido a que incrementan su viscosidad cuando son hidratados. Los polisacáridos también pueden formar películas comestibles. Esta clase de películas incluyen las que son a base de celulosa y sus derivados, quitosano, almidones, dextrinas, alginatos, carragenina y pectina. Debido a su relativa insolubilidad en estado natural, la celulosa y la quitina son químicamente tratadas para incrementar su solubilidad en agua. El alginato y la pectina requieren adición de iones de calcio para formar geles (Miranda *et al.*, 2003).

#### **1.5.2.2. Envoltura individual retráctil**

La modificación gaseosa que origina la respiración de un producto hortofrutícola dentro de un envase de este tipo, no es suficiente para provocar un cambio significativo en la composición de la atmósfera debido a la elevada permeabilidad de las películas empleadas y a que el envase no suele estar herméticamente cerrado. La utilidad de la envoltura retráctil consiste en la capacidad de mantener una atmósfera saturada en agua, que prolonga la vida útil del alimento al reducir su retracción y pérdida de peso, de igual forma, disminuye la incidencia de alteraciones de origen microbiano debido a que reduce la probabilidad de contaminaciones



cruzadas en el interior del envase, permitiendo una rápida y fácil eliminación de las unidades contaminadas antes de su comercialización (Brody, 1996).

El envasado individual del aguacate en bolsas termoselladas de polietileno, retrasa la maduración y el ablandamiento del producto a una temperatura de 20 a 30° C, con niveles de O<sub>2</sub> entre el 3 y el 5% y los de CO<sub>2</sub> entre el 7 y el 9%. Sin embargo, al almacenar el fruto por más de 8 días a 30° C, al retirarlo del envase, se produce una maduración anormal. Al utilizar un absorbedor de etileno como es el KMnO<sub>4</sub>, y manteniendo el producto a 10° C, se prolonga la vida útil del aguacate. Para este tipo de envase en el caso del aguacate, la antracnosis del pedúnculo ha sido un factor limitante para el éxito del almacenamiento (Brody, 1996).

De igual forma se han estudiado las propiedades de permeabilidad de películas plásticas de poliolefina y nybar en las cuales la permeabilidad al O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub> aumenta conforme aumenta la temperatura y la humedad relativa, por lo que se ha encontrado que estas películas no son recomendables para empacar aguacate (Carreño *et al.*, 2006).

### 1.5.3. Radiaciones ionizantes

La irradiación se aplica a alimentos con la finalidad de esterilizarlos, eliminando por completo los posibles microorganismos adheridos y prolongar la vida útil del alimento sin necesidad de frío. La unidad de medida de las radiaciones son los grays. De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS), es posible aplicar una dosis de hasta diez kGrays en los alimentos sin riesgo toxicológico, microbiológico o nutricional para el consumidor (Gimferrer, 2008).

Los procesos de irradiación emplean esta forma particular de ondas electromagnéticas, o sea la radiación Gamma, que se conoce también como radiación ionizante o energía ionizante. Este término es utilizado para describir estas ondas, puesto que ellas provocan en el material que atraviesan la formación de partículas cargadas eléctricamente, llamadas "iones" (Figura 33) (González, 2009).

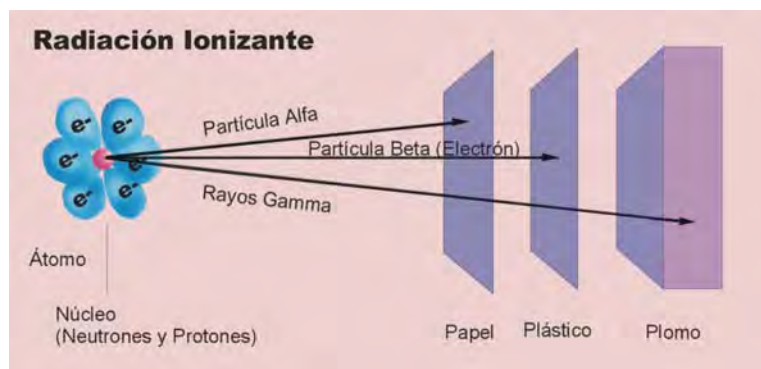


Figura 33. La radiación gamma. Fuente: González (2009)

La imagen anterior muestra como la radiación gamma penetra más en la materia que la  $\alpha$  ó  $\beta$ . La radiación se frena en un papel delgado, la  $\beta$  se frena interponiendo una lámina de plástico o aluminio de un milímetro pero la radiación gamma requiere gruesos espesores de plomo.



El mecanismo de acción de la irradiación en los alimentos puede ser directo o indirecto. El primero provoca rupturas y pérdida de estabilidad en los átomos y las moléculas de los compuestos, entre ellos el material genético. De aquí la destrucción de gran parte de los microorganismos. En el método indirecto, son los productos de ruptura de las moléculas, los radicales libres, los que afectan a otras moléculas y las destruyen. Por ejemplo, los productos radiolíticos generados del agua que poseen un alto valor oxidante. Los tipos de radiación utilizados para procesar alimentos son la radiación gamma, los rayos X y los electrones acelerados. Los radioisótopos emisores de radiación gamma normalmente utilizados para el procesamiento de alimentos son el cobalto 60 ( $^{60}\text{Co}$ ) y el cesio 137 ( $^{137}\text{Cs}$ ). Se llama irradiación a bajas dosis cuando se aplica una dosis de hasta un kGy y cuyo efecto es la inhibición de brotes de los bulbos y la inactivación de parásitos o plagas (Gimferrer, 2008).

#### **1.5.3.1. Tratamiento cuarentenario**

En México los frutos de aguacate Hass (*Persea americana* Mill.) pueden ser hospederos de algunos barrenadores del hueso como *Conotrachelus perseae* Barber y *Heliopus lauri* Boheman; éstos están sujetos a estrictas regulaciones cuarentenarias, de ahí que se ha restringido la exportación de aguacate mexicano a los Estados Unidos. Por esta razón, se ha investigado el desarrollo de tratamientos alternativos para aguacate fresco. Los tratamientos de cuarentena requieren más de 12 días a 0.5-2.0° C, lo cual afecta la calidad del fruto de aguacate al provocar daños por frío.

Se ha considerado el uso de la irradiación gamma en dosis bajas ya que puede esterilizar plagas de importancia cuarentenaria (Arévalo *et al.*, 2002).

Las investigaciones realizadas han sido en frutos de calidad de exportación que como principal característica contienen un 28% de materia seca y con un peso de 245 a 280 gramos. Debido a que el fruto es sensible a los tratamientos de cuarentena, para mantener una calidad aceptable en los aguacates, éstos pueden resistir una radiación de hasta 150 Gray a una temperatura de 18° C y con una fuente de cobalto-60 seguida de un almacenamiento a 20° C (Arévalo *et al.*, 2002).

#### **1.5.3.2. Maduración de aguacate**

Los frutos irradiados tienen una acumulación temprana de etanol y menor firmeza, debido a alteraciones en su metabolismo normal. Además, la irradiación incrementa la actividad de fenilalanina amoniliasa y el contenido de fenoles totales como respuesta del fruto al estrés causado por el tratamiento (Arévalo *et al.*, 2002).

El incremento en la producción de etileno en frutos irradiados de acuerdo a Arévalo *et al.* (2002), se explica por la estimulación en la actividad de ACC sintasa (ácido 1-aminociclopropano 1- carboxílico sintasa). Como consecuencia del efecto de la irradiación en la membrana celular, que se inhibe la formación de etileno, la enzima ACC oxidasa, reguladora del paso de ACC (1-amino ciclopropano 1-carboxílico) a etileno, está



localizada en las membranas celulares del plasmalema y tonoplasto. Junto con el incremento en la intensidad respiratoria y la producción de etileno, se presenta la pérdida súbita de firmeza. Esta pérdida en la firmeza es debido a que la celulasa es una de las enzimas más importantes en la degradación de la pared celular en frutos de aguacate. El incremento en la actividad de celulasa tiene una relación muy estrecha con el aumento en la respiración, producción de etileno y ablandamiento de los frutos. Además, la irradiación puede destruir compuestos pécticos y celulosa así la respuesta fisiológica y el efecto directo de la irradiación contribuyen al ablandamiento temprano de los frutos de aguacate.

La irradiación provoca la acumulación de etanol en tejido vegetal, por un incremento en la glicólisis y metabolismo de acetato que derivan en piruvato, el cual se utiliza en el ciclo de Krebs y la ruta alcohólica. Esto explica el incremento en la intensidad respiratoria y la acumulación de etanol; la activación de piruvato descarboxilasa (PDC) y alcohol deshidrogenasa (ADH), resulta de una disminución en el pH citoplasmático por el incremento en la producción de bióxido de carbono.

La irradiación puede provocar daños en algunos frutos, picado en la piel y oscurecimiento en la pulpa. Los frutos irradiados, con una dosis de 150 Gray puede presentar alteraciones en el color interno del fruto que se presenta como un pobre desarrollo de la coloración amarilla característica de la pulpa, debido a la destrucción de carotenoides (Arévalo *et al.*, 2002).

#### **1.5.4. Aplicación de reguladores de crecimiento**

Por su alta tasa respiratoria y alta producción de etileno, el fruto de aguacate es muy perecedero y poco tolerante al almacenamiento prolongado. Una técnica reciente para alargar la vida postcosecha y mantener calidad de los frutos de aguacate es mediante la aplicación de productos que inhiben la acción del etileno (Osuna *et al.*, 2005).

En refrigeración el aguacate puede ser almacenado durante tres o cuatro semanas y manteniendo la calidad aceptable, sin embargo, si el fruto se refrigera por periodos más largos, existe el riesgo de daños externos e internos, como son oscurecimiento del sistema vascular en la pulpa, manchado de la piel, maduración irregular y desarrollo de color traslúcido y sabores anormales (Osuna *et al.*, 2005).

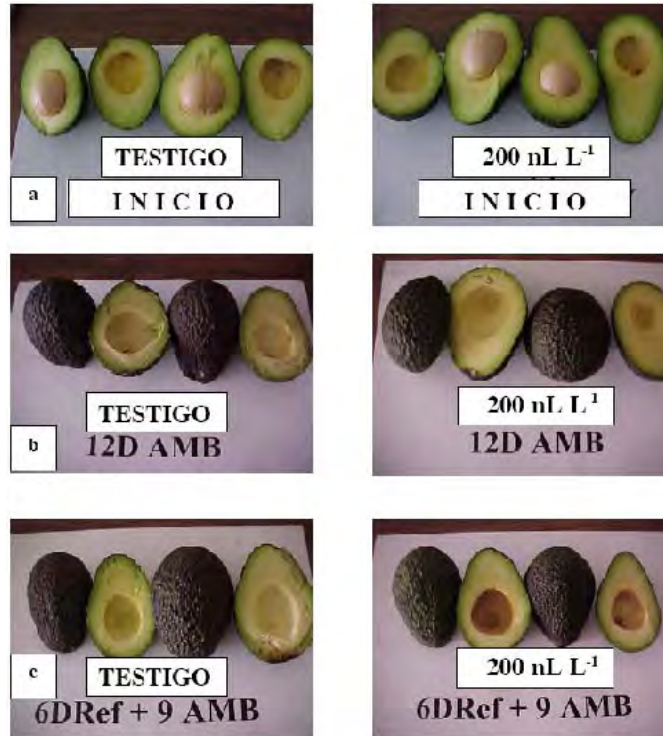
La eliminación de etileno así como la inhibición del efecto de este en ambientes de almacenamiento es fundamental para mantener la calidad de postcosecha en productos climatéricos. El control de etileno en ambientes de almacenamiento juega un papel principal en la prolongación de la vida de muchos productos frescos. Sin embargo, durante los últimos años la investigación de materiales nuevos y más eficaces para la depuración de etileno ha sido escasa (Terry *et al.*, 2007).

Un inhibidor eficaz del etileno es el metilciclopropeno (1-MCP), que se une a los receptores de etileno en la célula e impide las reacciones propias de la maduración que conducen al ablandamiento de tejidos, desintegración de la pared celular y degradación de pigmentos. Su uso ha dado buenos resultados al retrasar el procesos de maduración, alargar la vida de anaquel y mantener la calidad de gran variedad de frutos y hortalizas, dentro de los cuales se encuentra el aguacate (Figura 34) (Osuna *et al.*, 2005).





De acuerdo a Osuna *et al.* (2005), en dosis de  $200\text{nL L}^{-1}$  retrasa en 5 días el proceso de maduración de frutos teniendo como indicador el cambio natural del color de cáscara de verde a negro en condiciones de almacenamiento con refrigeración y sin ella. Además hace más lento el ablandamiento de la pulpa, sin afectar la apariencia externa y se disminuye la incidencia de enfermedades fungosas. Por lo anterior se alarga la vida de anaquel. Incluso en almacenamiento sin refrigeración se tiene ventajas en una menor pérdida de peso.



**Figura 34. Efecto del 1-MCP en Aguacate Hass.** Fuente: Osuna *et al.* (2005).

En la figura anterior se muestra el efecto del 1-MCP en el aguacate Hass en sus diferentes etapas: a) inicio del almacenamiento, b) 12 días en ambiente ( $22\pm 2^\circ\text{C}$ ;  $75\pm 10\%$  HR), c) Seis días en refrigeración ( $6\pm 0.5^\circ\text{C}$ ,  $90\pm 5\%$  HR) + 9 días en ambiente.

A pesar de la disponibilidad de varias tecnologías para absorber etileno como por ejemplo la degradación catalítica a altas temperaturas, el carbón activado, entre otras, la mayoría de los sistemas comerciales para el control de este compuesto se basan en sistemas de ventilación adecuados y oxidación de etileno mediante permanganato de potasio ( $\text{KMnO}_4$ ). Sin embargo, los sistemas de ventilación no son siempre apropiados en ambientes sellados o herméticos como las atmósferas controladas o determinados formatos de empaquetamiento ó donde el control específico de etileno es preciso.  $\text{KMnO}_4$  sostenido en esferas activadas de alúmina puede tener una eficacia limitada a largo plazo en ambientes con alta humedad relativa con son los almacenes de refrigeración (Terry *et al.*, 2007).

Investigaciones han identificado un compuesto en polvo provocado por paladio (Pd), el cual presenta una significativa capacidad de adsorción de etileno a  $20^\circ\text{C}$  y aproximadamente 100% HR que demostrando ser muy superior a  $\text{KMnO}_4$  cuando se utiliza en pequeñas cantidades y bajo condiciones de humedad relativa (HR) alta,



observando inhibición de la maduración inducida por etileno sin provocar alteraciones en el fruto al remover el material con Pd (Terry *et al.*, 2007).

### 1.6. Aguacate orgánico

En los últimos años, los mercados internacionales han mostrado una tendencia hacia el consumo de alimentos de mayor calidad y libres de agroquímicos. De tal manera que la demanda mundial por productos orgánicos en el 2005 registro ventas por \$30 billones de dólares, que representan el 2.5% del total de ventas en el sector agroalimentario. El mercado más grande para los productos orgánicos es la Unión Europea con un 45% de las ventas mundiales siendo principales consumidores de este tipo de productos Alemania, Inglaterra y Francia. Villazán *et al.* (2007)

La finalidad de este sistema de producción es manejar de manera sostenible la huerta, evitando el uso de agroquímicos que provocan daños a la salud humana y al medio ambiente.

El estado de Michoacán (concentra más de 90% de la producción nacional de aguacate en México) se produce aguacate orgánico desde mediados de los años noventa (Villazán *et al.*, 2007).

## 2. Procesamiento

El aguacate presenta una variada posibilidad de usos como productos industrializados como: pulpas empleadas como base para productos untables, tanto frescas como refrigeradas o congeladas, mitades congeladas, y obtención de aceite, tradicionalmente para fines cosméticos, pero este último tiempo se ha incrementado la producción de aceite extra virgen para fines culinarios, teniendo un gran potencial futuro por sus propiedades.

Dentro de las alternativas nombradas, el puré de aguacate congelado ha sido el que ha tenido un mayor volumen de producción al ser utilizado como base para productos untables constituyendo la base del Guacamole, muy popular en México, país con mayor consumo en el mundo, y ahora también en Estados Unidos y Europa como base de las comidas denominadas “Tex-Mex”.

El aceite constituye el segundo producto industrializado del aguacate, sin embargo el consumo de éste varia, desde un uso masivo como producto cosmetológico a un uso de tipo culinario, ya que por sus cualidades están sustituyendo al aceite de oliva. El aguacate deshidratado en polvo es una buena alternativa para la industria de esta fruta ya que de esta forma puede durar mucho tiempo (Olaeta, 2006).

### 2.1 Operaciones generales

Las operaciones generales son las que se realizan previamente al procesamiento del aguacate, incluyen la selección de la fruta, el lavado, pelado, deshuesado, cortado o rebanado, y en algunos casos un pretratamiento térmico para mejorar la calidad del producto final (Fig. 35).

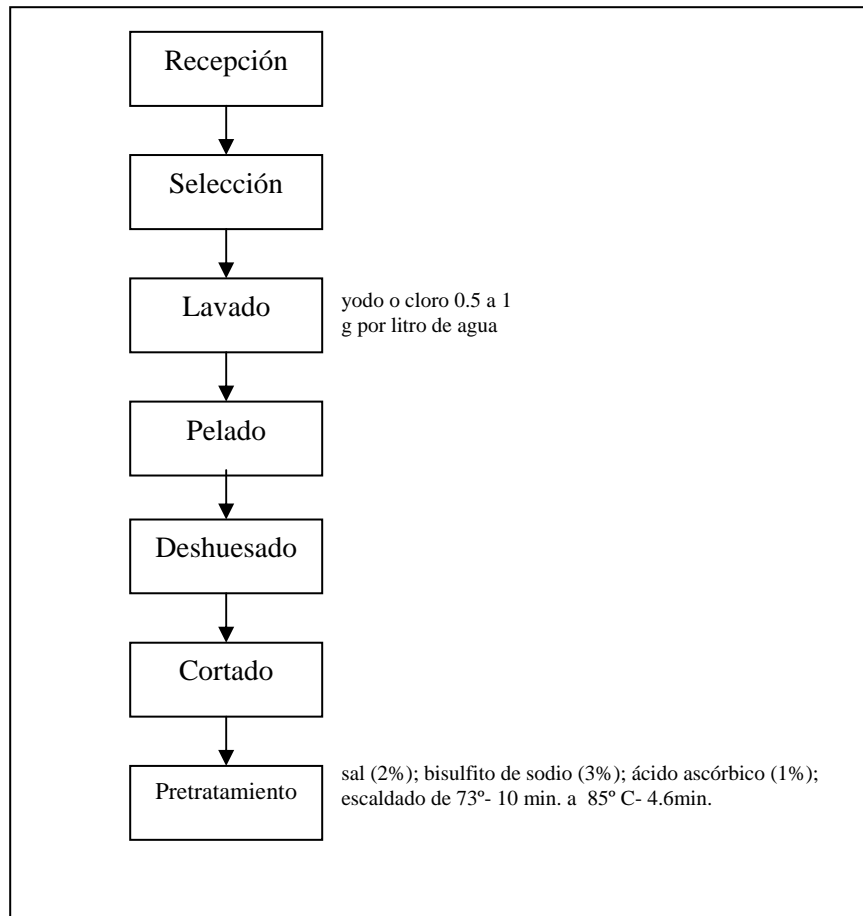


Figura 35 Operaciones generales para el procesamiento de aguacate.

### 2.1.1. Recepción y Selección

El aguacate maduro se seleccionan por inspección visual, escogiendo aquellas que no presentaran heridas abiertas o daños por hongos, se recibe la fruta en el área de proceso y se realiza la operación de pesado para la determinación de rendimientos del proceso. Domínguez (2007). El grado de madurez dependerá del producto a elaborar, debe estar libre de picaduras de insectos o mordidas de roedores y sin podredumbre. Este es un punto crítico del proceso ya que para obtener un producto final de buena calidad se debe partir de materia prima sana (Curiel, 1990).

### 2.1.2. Lavado

El lavado se realiza a presión para limpiar todas las impurezas presentes en el aguacate se puede utilizar una solución desinfectante como yodo o cloro fungicida o como Thianbendazol en dosis de 0.5 a 1 g por litro de agua, se debe tener especial cuidado para evitar peligros de tipo biológico, por lo que en esta etapa se lava y desinfecta la fruta para eliminar la suciedad proveniente del campo y minimizar la carga microbiana presente en la fruta (Chacon, 2006; Domínguez, 2007).



### **2.1.3. Pelado, deshuesado, rebanado o cortado**

El pelado, se puede realizarse de forma manual o mecánica; luego se tiene que pesar nuevamente para calcular rendimientos de la fruta que se procesará (Domínguez, 2007).

La separación de la semilla de la pulpa del aguacate, el cual se podrá hacer en forma manual, o mediante un equipo automático dependiendo de la escala en la cual se este trabajando. Esta etapa del proceso se realiza con la finalidad de acondicionar o preparar el aguacate para la siguiente etapa del proceso.

El rebanado o cortado tiene como objetivo reducir el tamaño de la fruta, generalmente se realiza en una rebanadora, sin embargo, esta etapa se puede realizar de forma manual o mecánica, con el objetivo de cortar la fruta en trozos, pedacitos, cubitos, según la forma que se comercializará el producto o para facilitar las siguientes etapas del proceso (Chacon, 2006; Domínguez, 2007).

### **2.1.4. Pretratamiento**

Se les denomina pretratamiento a los procesos que se les dan a la fruta antes de alguna operación como congelado, deshidratado, etc, con el objetivo de mantener la calidad y alargar la vida útil del producto. Estos procesos de pretratamiento dependen de las propiedades de las frutas y del método de procesamiento utilizado. Algunas veces se emplea sal (2%), bisulfito de sodio (3%), ácido ascórbico (1%), o un proceso de escaldado, que consiste en un calentamiento rápido hasta una temperatura mínima de 73° C y una máxima de 85° C, se mantiene a esa temperatura por un tiempo de 10 y 4.6 minutos, respectivamente, y luego se enfría, sirve para inactivar enzimas o destruir sustratos, limpiar el producto, reducir la carga microbiana, favorecer la rehidratación, acelerar los procesos de secado. Este método puede realizarse por inmersión en agua caliente o utilizando vapor, también facilita el proceso de despulpado al suavizar la pulpa (Chacon, 2006; Domínguez, 2007; Vildósola, 2008).

## **2.2. Productos mínimamente procesados**

El estudio de nuevas tecnologías de conservación de alimentos surge en el contexto de las sociedades de países industrializados donde los consumidores valoran positivamente aquellas características de los alimentos que les confieren mayor valor añadido como son: una escasa manipulación en su preparación, el empleo de aditivos naturales o la ausencia de los mismos, conservación de las características sensoriales propias del alimento fresco de partida y la conservación o potenciación de las propiedades nutricionales y las cualidades beneficiosas para la salud de los productos vegetales. Los alimentos de origen vegetal que presentan estas características se han denominado *Alimentos Vegetales Mínimamente Procesados* (Cano *et al.*, 2005).

El objetivo de los investigadores en tecnología de los alimentos es el desarrollo de nuevos sistemas de conservación que prolongue la vida útil de los alimentos en óptimas condiciones de calidad pero sin comprometer ni la seguridad ni las propiedades sensoriales (De Ancos *et al.*, 2006).



El procesado mínimo de alimentos es la aplicación de una serie de tecnologías, que combinadas o no, deben mantener las características del alimento lo más cercanas posible a las del producto fresco, además de mejorar su vida comercial útil en términos microbiológicos, sensoriales y nutricionales.

Dentro de esta terminología se incluyen dos tipos de productos distintos:

- Frutos mínimamente procesados cortados en fresco
- Derivados de frutos (purés, zumos o trozos) tratados por la Alta Presión Hidrostática-APH (CEI-RD, 2007).

### **2.2.1 Derivados de frutos (purés, zumos o trozos) tratados por la Alta Presión Hidrostática-APH**

Consiste en la aplicación de presión al alimento con una intensidad entre 100 a 1000 MPa, sola o en compañía de tratamientos térmicos suaves, aditivos naturales, etc, envasados asépticamente, conservados, distribuidos y conservados en refrigeración (2-7 °C), listos para ser consumidos sin ninguna operación adicional durante un periodo de vida útil de 30 a 60 días.

De acuerdo a diversos estudios, se considera a la tecnología APH la más viable comercialmente entre las tecnologías no térmicas estudiadas. En la actualidad existen equipamientos comerciales discontinuos (de 10 a 500 L de capacidad) capaces de tratar sólidos, líquidos y alimentos viscosos y con partículas (de 1 a 4 ton/h-1), siendo el costo del proceso calculado para los nuevos equipamientos de aproximadamente 10-15 eurocéntimos/kg de producto. Actualmente se comercializan salsas tipo guacamole (Cano *et al.*, 2005).

#### **2.2.1.1. Pasta de aguacate o Guacamole obtenido por alta presión hidrostática**

##### **2.2.1.1.1. Tratamiento con presión hidrostática**

La presurización es una técnica relativamente reciente en el campo alimentario, empleada desde 1990. La presurización es una buena técnica de esterilización de alimentos y ya se desarrolla a nivel comercial lo cual favorece y mejora la calidad sensorial y la conservación de los alimentos (Téllez *et al.*, 2001).

La alta presión hidrostática (APH), también denominada pascalización o presurización, es una tecnología de gran interés en la industria de alimentos debido a su efectividad en la conservación de los mismo. Destaca sobre los procesos térmicos debido a que éstos causan pérdida de nutrientes y sabores. La APH provoca la inactivación de las células microbianas sin alterar la calidad sensorial ni los nutrientes de los alimentos. El efecto de la alta presión sobre la viabilidad de los microorganismos es una combinación de: cambios en la morfología de la célula, los cuales son reversibles a bajas presiones (<200 MPa) pero irreversibles a altas presiones (>300 MPa); desnaturalización de proteínas a presiones altas debido al desdoblamiento de cadenas peptídicas; modificaciones que afectan la permeabilidad de la membrana celular (Téllez *et al.*, 2001).

El procesado por Alta Presión Hidrostática (APH) consiste en la aplicación de presión al alimento con una intensidad entre 50 a 1000 MPa, sola o en combinación con otras factores (tratamientos térmicos suaves, ultrasonidos, CO<sub>2</sub>, aditivos naturales, etc.), envasados asépticamente, 2 conservados, distribuidos y conservados



en refrigeración (2- 7°C), listos para ser consumidos sin ninguna operación adicional durante un periodo de vida útil de 30 a 60 días (De Ancos *et al.*, 2006).

El éxito del tratamiento y conservación de los alimentos por APH se basa en la posibilidad de conseguir alimentos seguros desde el punto de vista microbiológico pero modificando mínimamente sus características sensoriales así como los nutrientes esenciales, vitaminas y compuestos bioactivos mediante la selección inteligente de la adecuada combinación tiempo-presión-temperatura (De Ancos *et al.*, 2006).

En general, los microorganismos Gram negativos son los más sensibles a los tratamientos de APH, seguidos de levaduras y hongos, Gram positivos y por último esporas. Los virus son muy resistentes a los tratamientos APH, aunque depende de su naturaleza. Los tratamientos de APH son más efectivos en la etapa logarítmica de crecimiento.

En la actualidad los tratamientos a altas presiones pretenden conseguir alimentos estables a temperatura ambiente por tiempos de almacenamiento prolongados que incluso abarquen meses, pero con el aspecto de "frescura" del producto inicial mediante la esterilización con APH. Además se busca resolver el problema relacionado con el *daño subletal*, que depende en gran medida de la sensibilidad de cada microorganismo al tratamiento de alta presión, permitiendo a aquellos organismos dañados o estresados reaparecer tras un periodo de recuperación. Por tanto, los microorganismos, pueden perder de forma reversible o irreversible su capacidad de multiplicarse. Las técnicas tradicionales para determinar la viabilidad de los microorganismos en ocasiones no permiten evaluar el daño producido por este tipo de estrés, sobreestimando la eficacia del tratamiento por APH. Células estresadas por los tratamientos APH son capaces de resucitar en determinadas situaciones, por ejemplo, en medios ricos en nutrientes como la leche. Estos medios ejercen un efecto superior al de los medios acuosos frente al efecto antimicrobiano de los tratamientos APH (De Ancos *et al.*, 2006).

Algunas de las ventajas que ofrece la APH son (Téllez *et al.*, 2001):

- Evita la deformación de los alimentos debido a que la presión se transmite uniformemente e instantáneamente, es decir, no hay gradientes. A diferencia de los tratamientos térmicos, es independiente del volumen y forma de la muestra con lo que se reduce el tiempo requerido para procesar alimentos.
- No produce deterioro de los nutrientes termolábiles como vitaminas, ni altera otros compuestos de bajo peso molecular, fundamentalmente aquellos responsables del aroma y sabor.
- No altera el sabor natural, ni la coloración del alimento, ya que no favorece reacciones de pardeamiento no enzimático.
- No produce residuos debido a que se trata de una energía limpia.
- No precisa la incorporación de aditivos al alimento.
- Mejora o provoca la aparición de propiedades funcionales en los alimentos.
- Tiene poco gasto energético.



Sin embargo como desventajas se encuentran el alto costo del equipo, con los equipos diseñados actualmente no se pueden diseñar procesos continuos aunque existen discontinuos que operan en línea, lo que imposibilita esta aplicación en algunos alimentos (Téllez *et al.*, 2001).

Por todas las ventajas que presentan las altas presiones, cuentan con aplicaciones de muy diversa índole en la industria de conservación de los alimentos, entre las cuales se encuentran las siguientes:

- pasteurización y esterilización sin modificar las propiedades organolépticas
- inactivación o activación de enzimas para retardar o acelerar los procesos de maduración.
- cambios en las transiciones de fase; congelación a temperaturas bajo cero evitando la formación de cristales de hielo.
- Extracción de componentes alimentarios (pectinas, pigmentos e incluso agua).
- Impide pardeamiento no enzimático en determinados alimentos, pues evita la oxidación lipídica en ciertos productos (Téllez *et al.*, 2001).

#### **2.2.1.1.2. Inactivación Enzimática.**

La efectividad de los tratamientos de alta presión hidrostática sobre la inactivación enzimática depende de variables del tratamiento (presión, tiempo, temperatura), de la composición del alimento y del tipo de enzima. En los últimos años se han llevado a cabo numerosos estudios sobre la aplicación de tratamientos de alta presión hidrostática, solos o combinados con calor suave, para la desactivación de enzimas relacionadas con la pérdida de calidad de los alimentos vegetales (peroxidasas ,PDO; lipoxigenasas, LOX; pectinmetilesterasas, PME). Probablemente las polifenoloxidasas (PFO), sean las enzimas más estudiadas en relación con la efectividad de éstos tratamientos, debido a los graves problemas de calidad sensorial relacionados con su actividad como es el pardeamiento enzimático (Cano *et al.*, 2005).

Las altas presiones modifican la estructura terciaria y cuaternaria de las proteínas, lo cual significa que las enzimas son alteradas. Esta alteración es debida a la modificación de las estructuras intermoleculares y cambios en el sitio activo de la enzima. Se ha observado que algunas enzimas se inactivan con las altas presiones mientras que otras se activan (Téllez *et al.*, 2001).

Se han estudiado los efectos de la APH en las polifenoloxidasas, lo cual para el estudio del aguacate es de importancia. Las características de inactivación o pérdida de actividad de algunas enzimas al someterlas a tratamientos de APH son las siguientes (tabla 16):



Tabla 16. Inactivación de enzimas por alta presión hidrostática

Enzima	Condiciones de tratamiento	Efecto	Alimento
Lipoxigenasa	689 MPa, 15 min	Inactivación	Guacamole
Polifenoloxidasasa	689 MPa, 4 ciclos, 5 min	Reducción de la actividad un 15%	Guacamole

Fuente: Téllez *et al.* (2001)

A diferencia de los procesos térmicos y otras tecnologías de conservación, los efectos del HPP (high pressure processing) son uniformes y casi instantáneos a través del alimentos y por lo tanto independientes de la geometría y tamaño del producto y equipo.

Los componentes clave del quipo utilizado para HPP son los contenedores de alta presión y las bombas intensificadoras cuya función es generar la presión elevada (Figura 36) (Velásquez *et al.*, 2005).

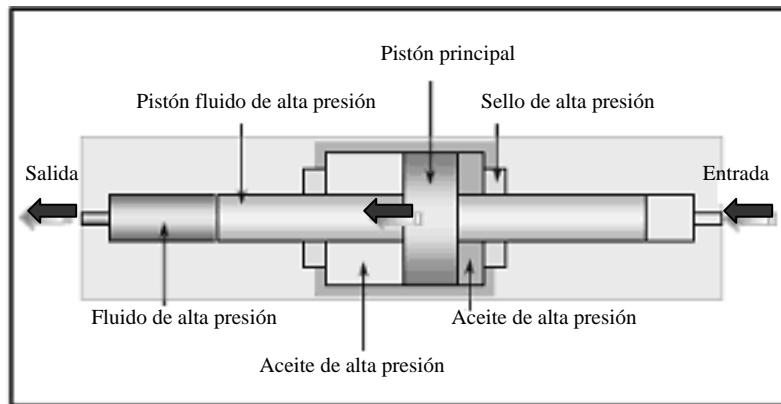


Figura 36. Tecnología de la bomba de alta presión . Fuente: Velásquez *et al.* (2005)

La producción de guacamole o salsa de guacamole se realiza a valores cercanos a 600 MPa, por un tiempo aproximado de un minuto (Figura 37). Debido a los altos niveles de presión, este proceso tiene un alto costo debido al uso de tanques reforzados con cable de acero para construir equipos de operación fiables, seguros y de larga duración (Velásquez *et al.*, 2005).

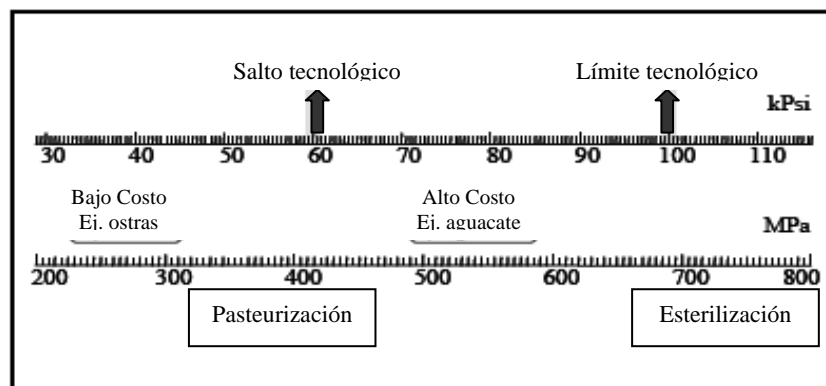


Figura 37. Límites tecnológicos en los equipos para procesamiento por alta presión. Fuente: Velásquez *et al.* (2005)





En la actualidad los productos obtenidos por alta presión emplean refrigeración, una actividad de agua reducida o bajos valores de pH para evitar la germinación de las esporas bacterianas.

El aguacate tratado por alta presión ha sido aceptado rápidamente en el mercado de Estados Unidos debido a que hasta el año de 1999, no se había satisfecho la demanda del consumidor por un producto con una vida de anaquel aceptable, fácil de usar y libre de aditivos químicos (Velásquez *et al.*, 2005).

### **2.3. Productos congelados y térmicamente procesados**

Al hablar de productos congelados como trozos de fruta o pulpas y productos obtenidos a través de tratamientos térmicos como la deshidratación, se garantiza la disponibilidad del fruto a lo largo del año y de igual forma se pretende su conservación manteniendo en la mayor forma posible sus propiedades organolépticas y nutritivas.

En algunos casos es imposible mantener todas sus propiedades, sin embargo, el hecho de poder disminuir el metabolismo y fisiología del fruto representa la posibilidad de aumentar su vida útil y así tener un mayor aprovechamiento del fruto a nivel económico.

#### **2.3.1. Puré o pulpa congelada**

La pulpa congelada, consiste en la parte comestible de las frutas o el producto obtenido de la separación de las partes comestibles carnosas de éstas, mediante procesos tecnológicos adecuados y su posterior congelación (Chacon, 2006).

Las pulpas congeladas actualmente tienen alta demanda en el mercado por ser productos 100% naturales y poseer un tiempo de vida de hasta un año después de su congelación, el proceso se muestra en la Figura 38.

El guacamole y la pulpa de aguacate tienen un envasado aséptico en bolsas de polietileno o pueden tener un envasado al vacío en recipientes de plástico, esto último con el fin de obtener una larga vida de anaquel, la cual varía por diferentes condiciones: dos años a una temperatura de  $-18^{\circ}\text{C}$  ( $0^{\circ}\text{F}$ ), sin abrir el envase; de 7 a 14 días a una temperatura de  $1$  a  $3^{\circ}\text{C}$  ( $34$ - $37^{\circ}\text{F}$ ), sin abrir el envase; de 3 a 5 días después de abierto y de haber estado refrigerado (Olaeta, 2006).

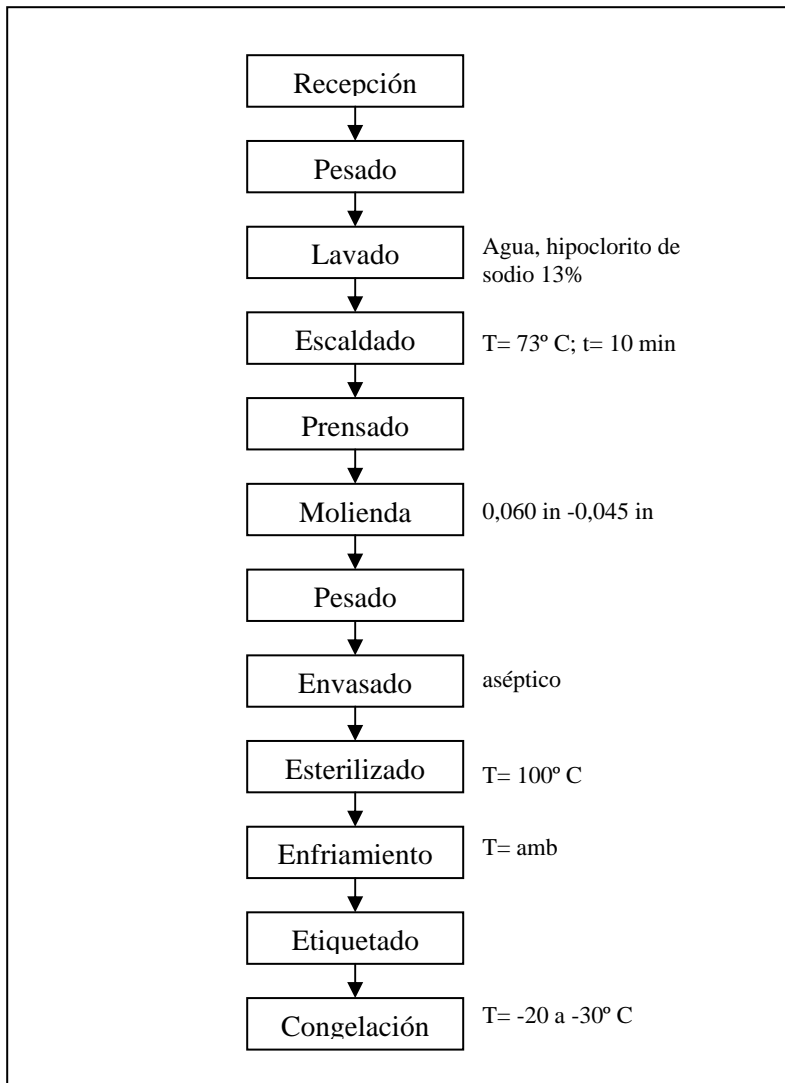


Figura 38. Diagrama de proceso para obtención de pulpa . Fuente: Chacon (2006)

### 2.3.2. Fruta congelada

En este proceso se tienen trozos del fruto congelados, los cuales generalmente se utilizan en ensaladas o para consumo directo. El proceso de congelación deberá efectuarse de tal forma que la zona de temperatura de cristalización máxima se pase rápidamente. En la figura 39, se muestra un diagrama general para productos congelados, considerando en la etapa de congelación la opción de existen diferentes tecnologías que van desde el congelado mecánico al criogénico. El proceso de congelación rápida no deberá considerarse completo hasta que, una vez lograda la estabilización térmica, la temperatura del producto en el centro térmico no haya descendido a  $-18^{\circ}\text{C}$  ( $0^{\circ}\text{F}$ ) (Domínguez, 2007).

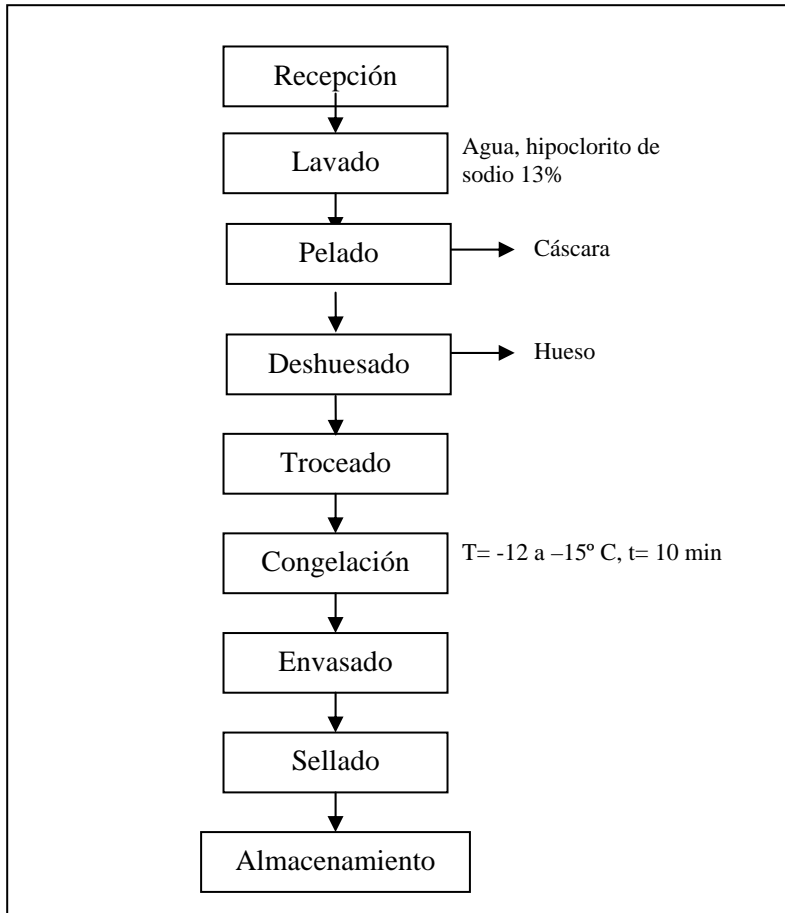


Figura 39. Diagrama de proceso para productos congelados en túnel. Fuente: Domínguez (2007)

### 2.3.2.1. Congelación

La congelación es el proceso de extracción de calor del producto, el cual inicia con enfriamiento hasta alcanzar temperaturas de  $-20^{\circ}\text{C}$ . Este método es utilizado para alargar la vida útil de la fruta y pulpas y la calidad del producto congelado depende del método de congelamiento que debe ser rápido para evitar que los cristales de hielo se formen lentamente, formando cristales de gran tamaño afectando la apariencia y textura después del descongelado. Chacon (2006). En la Tabla 17, se muestran los aspectos generales del proceso de congelación.



Tabla 17. Aspectos en el proceso de congelación

Aspecto	Descripción
<b>Métodos de congelación</b>	Mecánico: convección (utilizando aire forzado; con líquido no congelable), y conducción (contacto con una superficie fría). Criogénico: convección (uso de líquidos no congelables), conducción (hielo seco).
<b>Tipos de equipos</b>	congeladores de placas, túnel de congelado estacionario, túnel de congelado continuo, túnel de lecho fluidizado, congeladores criogénicos, utilizando algunas sustancias químicas como el Nitrógeno líquido y el Dióxido de Carbono líquido. El nitrógeno líquido también llamado criogénico es rociado por aspersión en el túnel alcanzando temperaturas muy bajas en tiempos cortos alcanzado $-196^{\circ}\text{C}$ en 7 minutos.
<b>Almacenamiento</b>	Las cámaras frigoríficas utilizadas deben permitir que la temperatura del producto se mantenga a $-18^{\circ}\text{C}$ ( $0^{\circ}\text{F}$ ) o inferior, con un mínimo de fluctuación y ya que las variaciones excesivas de la temperatura del producto, ya sea en grados o en frecuencia, pueden dar lugar a una grave deshidratación en los productos sensibles y a otras formas de deterioración de la calidad. Es por esta razón que deben evitarse en lo posible variaciones mayores de $2^{\circ}\text{C}$ ( $4^{\circ}\text{F}$ ) en la temperatura del aire. Los productos dentro del almacén se deben colocar de manera que no se entorpezca la circulación del aire. No deben estar nunca en contacto directo con las paredes (salvo en las cámaras forradas del techo o el suelo). La distancia entre los productos almacenados y las paredes, el techo y el suelo deberá ser como mínimo de 10 cm (4 pulgadas).
<b>Transporte</b>	El transporte de los alimentos congelados rápidamente, desde un almacén refrigerado a otro, deberá efectuarse con un equipo capaz de mantener la temperatura del producto a $-18^{\circ}\text{C}$ ( $0^{\circ}\text{F}$ ) o más baja, y que, efectivamente, la mantenga. Los vehículos deberán enfriarse previamente a $+10^{\circ}\text{C}$ ( $50^{\circ}\text{F}$ ) o a una temperatura más baja, antes de cargarlos, y deberán estar provistos de dispositivos que registren las temperaturas durante el transporte. Durante el transporte existe una tolerancia de un aumento de la temperatura del producto desde un almacén refrigerado a otro hasta $-15^{\circ}\text{C}$ , pero cualquier temperatura del producto superior a los $-18^{\circ}\text{C}$ deberá reducirse lo antes posible a $-18^{\circ}\text{C}$ bien sea durante el transporte, inmediatamente después de la entrega.

Fuente: Elaborado a partir de información de: Chacon (2006); Domínguez (2007).

### 2.3.3. Aceite

Los aceites vegetales comestibles son obtenidos por procedimientos mecánicos como el prensado y aplicación de calor purificados por lavado, sedimentación, filtración y centrifugación únicamente. Actualmente el método mas empleado para la obtención de aceite de aguacate es por prensado en frío el cual sigue el procesamiento de un aceite convencional sin la aplicación de calor (Codex Alimentarius, 1999).

El proceso de extracción de aceite maneja temperaturas no superiores a  $50^{\circ}\text{C}$ , lo cual garantiza que no se presenten daños y cambios en los nutrientes del aceite y debido a la limpieza del proceso no es necesario el refinado, blanqueo, desodorizado e hidrogenado del aceite, teniendo como producto un aceite virgen con apariencia cristalina de color verde oliva y olor característico del aguacate, el proceso se muestra en la figura 40 (Biocate, 2008):

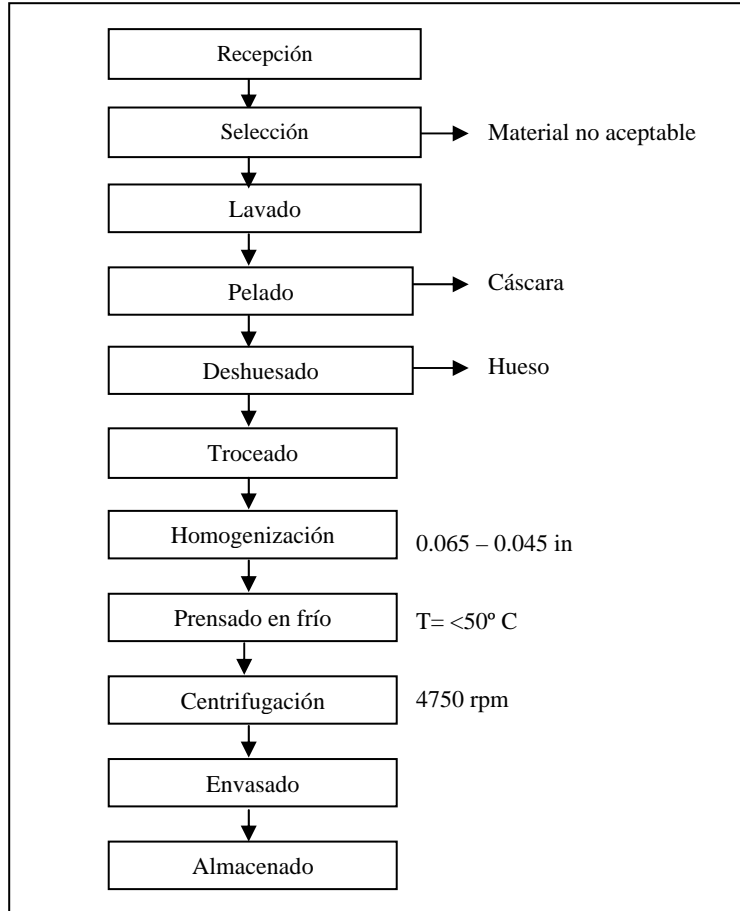


Figura 40. Diagrama de proceso para extracción de aceite por prensado en frío . Fuente: Biocate (2008); Paltita (2007).

Dependiendo de la variedad del aguacate y su madurez, alcanza en la pulpa niveles de hasta 25% de aceite, con valores promedios de 15-19%, lo que permite lograr rendimientos de alrededor de 10% de la fruta fresca. Este aceite contiene un alto nivel de ácidos insaturados. El aceite de aguacate se ha utilizado principalmente para uso cosmético, ya que contiene un esteroil llamado fitosterol, que posee las mismas habilidades que la lanolina. Esta particularidad es muy apropiada para la piel y cremas de masajes. Sin embargo, la tendencia es a utilizaren forma creciente el aceite de aguacate para uso culinario, por tener entre otras cualidades: un alto punto de humo, excelente sabor y un color verde muy atractivo, siendo preferido por los chefs de cocina de alta gastronomía europea, sustituyendo al aceite de oliva (Olaeta, 2006).

El almacenamiento y envase del aceite debe realizarse en botellas que lo protejan de la influencia negativa de la luz y el oxígeno para conservar sus propiedades y mantener su calidad (Biocate, 2008).



## **VII. Oportunidades Tecnológicas para el aprovechamientos del aguacate**

### **1. Productos existentes en el mercado.**

En la actualidad no existe una gran variedad de productos de aguacate en el mercado, en México lo más común es el aceite de aguacate, sin embargo, son muy pocas marcas y tiendas departamentales las que lo distribuyen. A continuación se mencionan algunas marcas existentes por cada producto de aguacate y el país de procedencia.

- Guacamole: Frumaco S.L. (España), Alwe (Chile)
- Guacamole en polvo: QUINASA S.A. DE C.V
- Aguacate en polvo: QUINASA S.A. DE C.V
- Pulpa de aguacate triturada: Frumaco S.L. (España), Alwe (Chile)
- Trozos de aguacate congelados: Frumaco S.L. (España), Alwe (Chile)
- Aceite de aguacate comestible: AVORO (México), Val de Aconcagua (Chile), Alwe (Chile)
- Aceite de aguacate uso cosmético: MARNYS, ALQVIMIA, Mon Deconatur, Biocate (Colombia)
- Aguacate orgánico: PHC (Plant Health Care de México)

(Biocate, 2008; Frumaco, 2008; Guzmán, 2009; Manqueley, 2009; Plant Health Care, 2009).

### **2. Propiedad intelectual**

En relación al aguacate, las patentes consultadas son internacionales y comprenden básicamente los siguientes temas:

1. Método de conservación de pulpa de aguacate.
2. Elaboración de guacamole.
3. Métodos de extracción de aceite de pulpa y semilla.
4. Harinas estabilizadas de pulpa de aguacate.
5. Tecnologías emergentes en el procesamiento del aguacate.
6. Formulaciones cosméticas utilizando compuestos del aguacate.
7. Medicamentos utilizando compuestos del aguacate.
8. Usos del material insaponificable del aguacate.
9. Equipo para pelado y extracción de semilla del aguacate.
10. Colorantes obtenidos de la semilla de aguacate.
11. Compuestos obtenidos de las hojas de aguacate.
12. Método de obtención de aguacate en polvo.



### **3. Identificación de oportunidades**

El aguacate ha incrementado su consumo a nivel mundial, con un aumento en las superficies plantadas en todos los países que la producen. Lo anterior ha provocado un incremento 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 mas importante para comercializar estos volúmenes. La industrialización del aguacate es una actividad que depende de los remanentes que queden de la producción para fresco.

Por otro lado, un buen producto industrializado debe partir con una materia prima de alta calidad, por lo que ese remanente de bajos calibres, posibles de industrializar, debe ser necesariamente de una buena calidad, y será influenciada por la variedad y el estado de madurez de la fruta del mismo modo que deben tratarse de frutos limpios.

Dentro de las alternativas nombradas, el puré de aguacate congelado ha sido el que ha tenido un mayor volumen de producción al ser utilizado como base para productos untables constituyendo la base del Guacamole, muy popular en México, país con mayor consumo en el mundo, y ahora también en Estados Unidos y Europa como base de las comidas denominadas “Tex-Mex”. El aceite, constituye el segundo producto industrializado de aguacates, sin embargo el consumo de este está variando, desde un uso masivo como producto para cosmética a un uso de tipo culinario, ya que por sus cualidades están sustituyendo al aceite de oliva.

También es posible obtener productos industrializados de aguacate, como productos de IV Gama tanto en mitades solas, o bien combinados con algunas hortalizas como lechugas, con uso CO<sub>2</sub> y N<sub>2</sub>. La deshidratación osmótica y la deshidratación por atomización así como la liofilización, se presentan también como alternativas interesantes de desarrollar en aguacate. En todos los casos anteriores la tendencia futura será a elaborar productos, en lo posible sin preservantes o si es necesario su uso, que sean naturales o estén dentro de la normativa orgánica (Olaeta, 2003).

En la Figura 41 se muestran los usos potenciales del aguacate de acuerdo a investigaciones científicas y patentes internacionales.

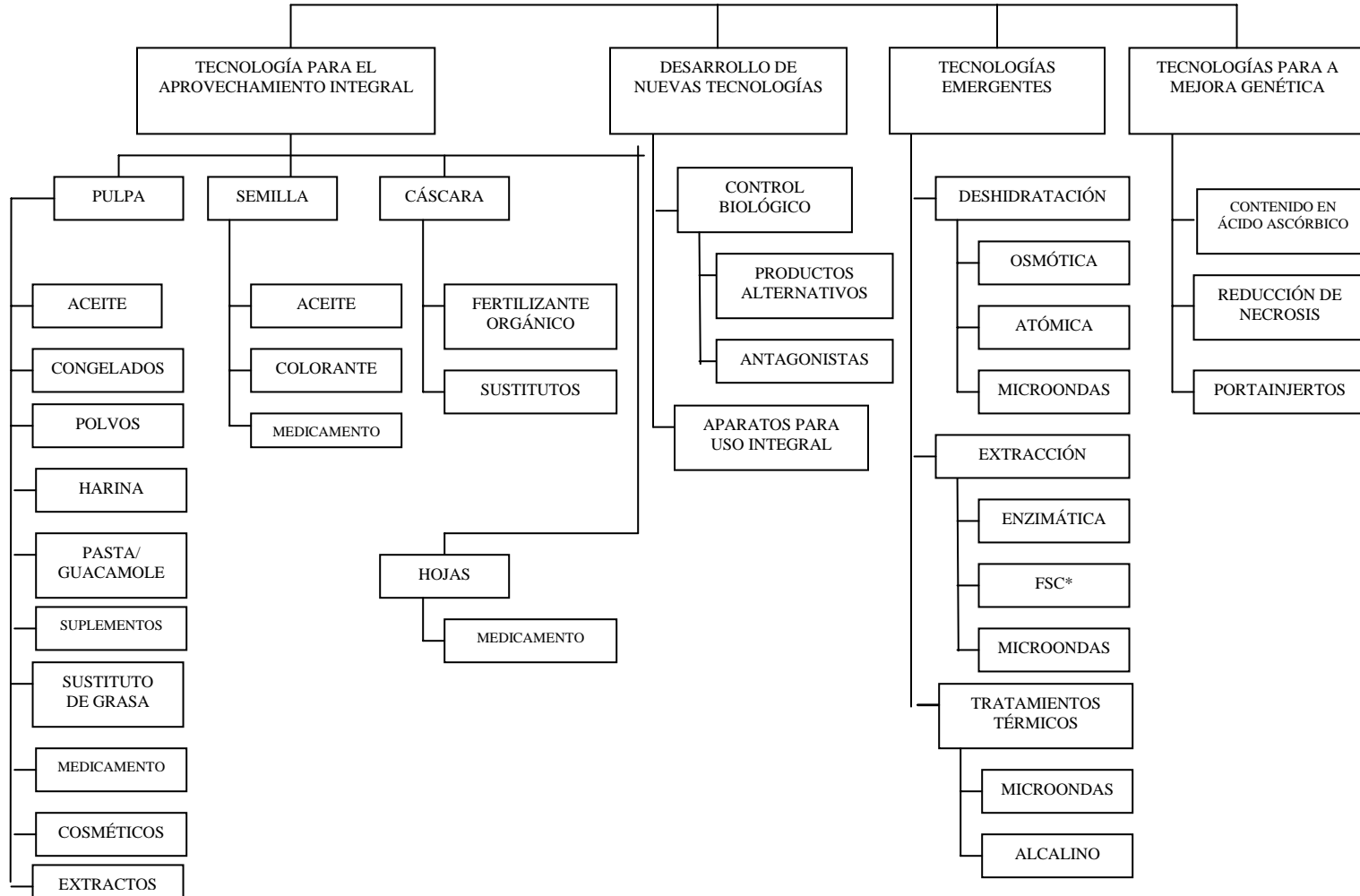


Figura 41. Mapa tecnológico de usos potenciales del aguacate.

\* FSC: Fluidos supercríticos





### 3.1. Aprovechamiento integral del aguacate

El aprovechamiento integral del aguacate consiste en utilizar todo material de desecho como es la cáscara y la semilla, así como otros usos en procesos de transformación poco comunes.

#### 3.1.1. Pulpa

##### 3.1.1.1. Aceite

El Aguacate aporta prácticamente todas las vitaminas requeridas por el organismo; a excepción de la vitamina B12, presente solo en el reino animal. Destacándose dentro de las hidrosolubles el importante porcentaje de ácido ascórbico, que potencializa el poder antioxidante de los tocoferoles presentes en la vitamina E.

El aporte de las vitaminas liposolubles es suficiente en cantidad, sin la presencia de colesterol y con un bajo porcentaje de ácidos grasos saturados.

Los triglicéridos presentes en el Aguacate, no son grasas sino aceites, ya que estos permanecen líquidos a la temperatura ambiente, que en su estructura predominan los ácidos grasos monoinsaturados e insaturados, que contienen vitaminas liposolubles en cantidad suficiente, y que no contienen colesterol, caso contrario al de las grasas, en las que predominan en su estructura los ácidos grasos saturados, son generalmente de origen animal y que invariablemente contienen colesterol (Ortega, 2003).

Dentro del aceite de aguacate se encuentra la vitamina F, que comprende ácidos grasos poliinsaturados, principalmente ácidos grasos esenciales como el omega 3 (por ejemplo el ácido linolénico) y omega 6 (por ejemplo el ácido linoleico), los cuales no son sintetizados por el organismo y por ende es necesario introducirlos en la alimentación. Particularmente el ácido linolénico y linoleico al ser precursores de ácidos esenciales poliinsaturados, juegan un papel importante en el cuerpo como por ejemplo, regulan los niveles de lípidos en la sangre, manteniendo la fluidez de las membranas celulares que proveen así de las paredes arteriales elasticidad y, por lo tanto, regulando la presión arterial, así protegiendo el sistema cardiovascular, promueven las funciones vitales de las células del sistema nervioso central, optimizando las defensas inmunes y atenúan reacciones inflamatorias. Otra sustancia muy importante para el bienestar corporal es la vitamina E, que posee actividad antioxidante y por lo tanto se implica en la protección de las membranas de la célula contra la formación de lipoperoxidos, capaz de dañar la capa de las membranas. La vitamina E también está implicada en la respiración celular en el nivel mitocondrial y es, por lo tanto, necesaria para la producción de la energía para la síntesis celular de la proteína.

Debido a la necesidad de proporcionar un aceite que sea rico en tales sustancias beneficiosas, Mattei (2005), desarrolló una patente la cual se refiere a la mezcla de algunos aceites vegetales en la cual se explican los ácidos grasos de frutas y hortalizas.



Uno de los métodos más comunes es la extracción de aceite mediante el uso de solventes, sin embargo las nuevas tecnologías lo ha desplazado por su eficiencia. Sin embargo, Curiel (1990), patentó un procedimiento para la extracción de aceite de aguacate utilizando solventes.

El proceso de extracción incluye la molienda de la pulpa de aguacate y el contacto de ésta con una solución de acetona a una temperatura de 25° a 55° C con la finalidad de extraer el agua libre del aguacate a una temperatura de 10° a 25° C. Con este método se obtiene una separación de fase espontánea de los componentes en el sistema agua-acetona-aceite-materia no saponificable, estando el contenido de agua en dicho sistema por arriba de 5% en peso de la acetona presente por lo que se tiene un paso final donde se separa la capa superior que contiene la materia no saponificable, de la mezcla aceite-acetona-agua, posteriormente se realiza una destilación de la acetona y se remueve el agua, obteniendo un aceite de aguacate puro y su materia no saponificable (Curiel, 1990).

Con la finalidad de evitar el uso de disolventes y reactivos químicos, así como optimizar el gasto de energía, se ha patentado el aceite extra virgen de aguacate el cual se obtiene por un calentamiento por microondas de la pulpa seguido de un proceso de extracción, almacenamiento en refrigeración y centrifugación. Con este método es posible dar un uso a la pasta residual utilizándola como base para la preparación de dips, aderezos, salsas, cremas, etc (Figura 42).

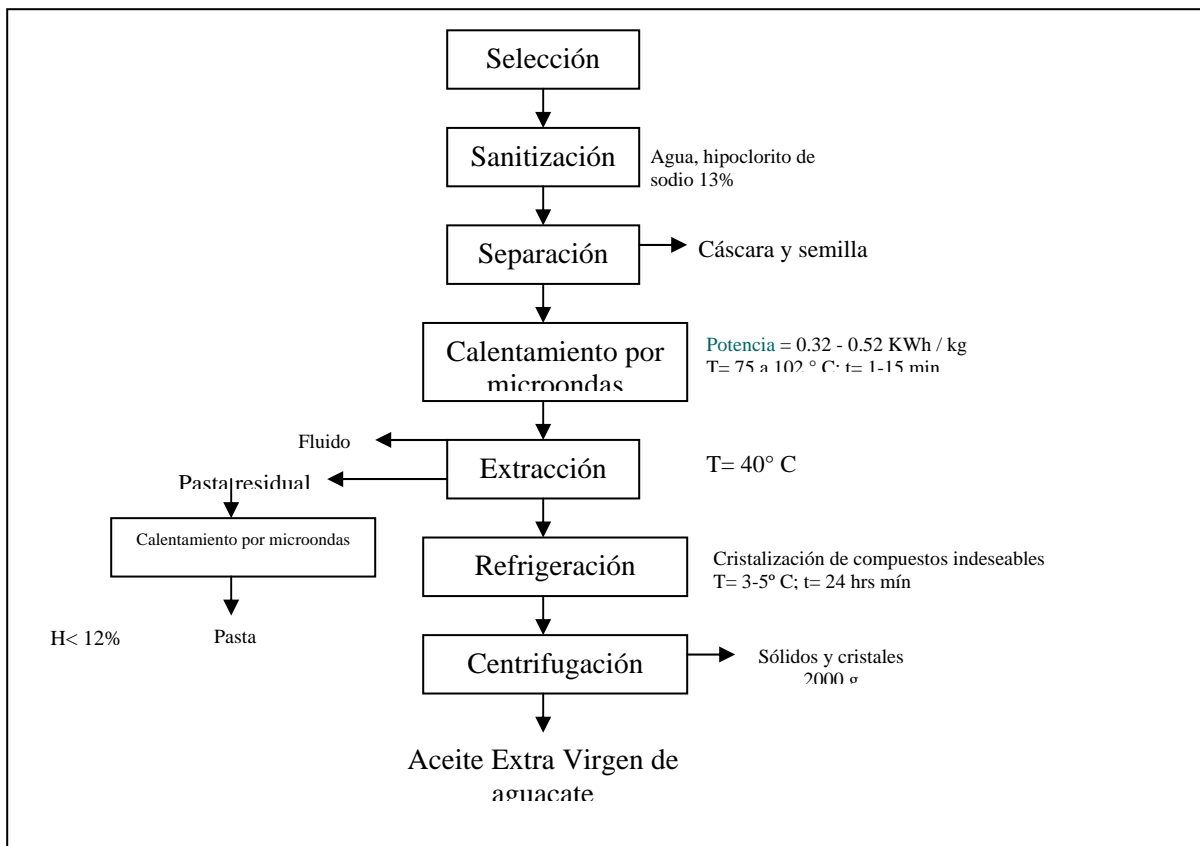
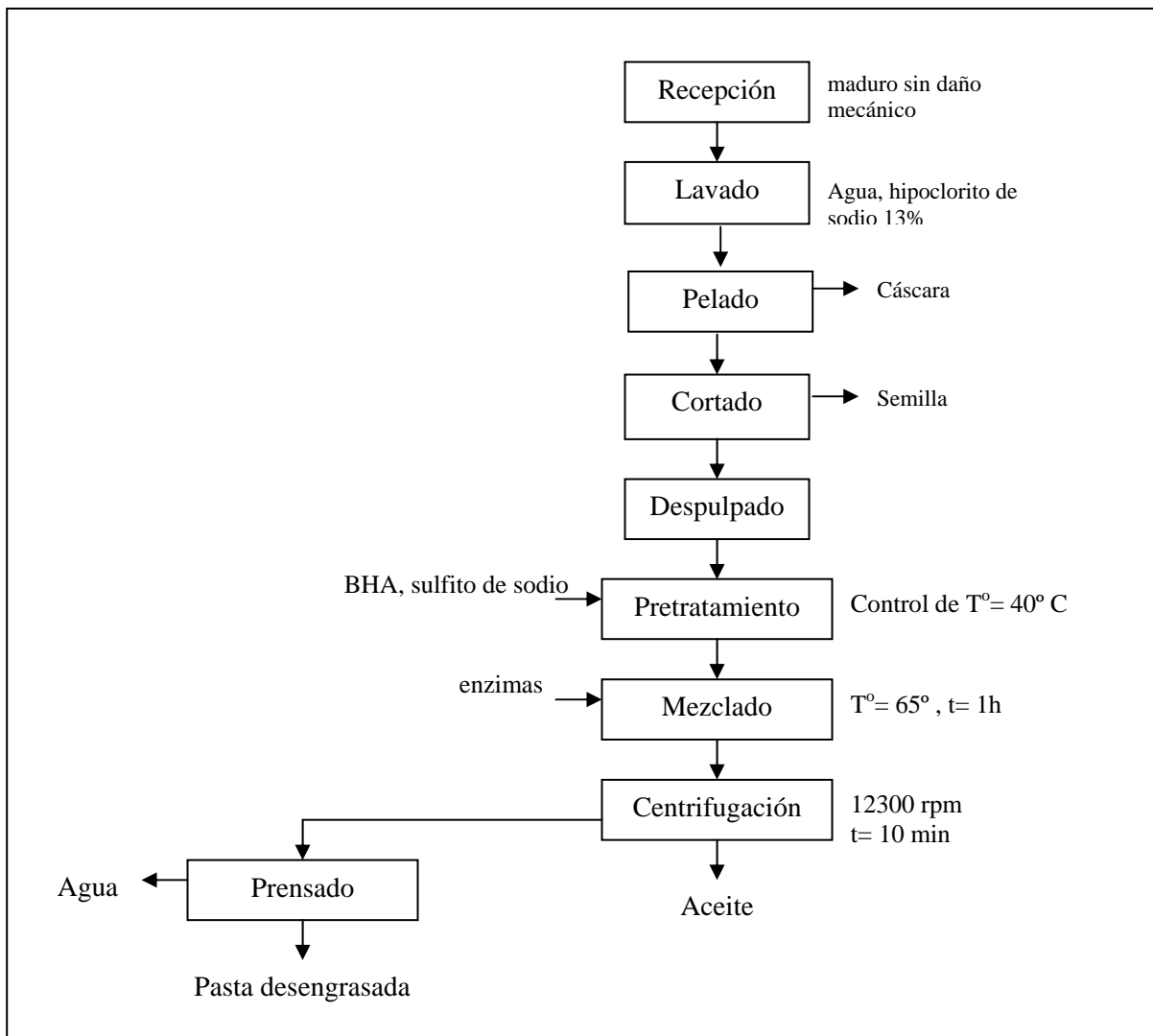


Figura 42 Diagrama de proceso para aceite extra virgen de aguacate. Fuente: Alvarez *et al.* (2006)



El método está basado en el uso de una tecnología emergente que es el uso de microondas y esta compuesto fundamentalmente de tres operaciones unitarias: sanitizado, obtención de la pulpa, calentamiento con microondas, extracción y centrifugación. Este aceite compite directamente con el aceite de oliva debido a que su composición en ácidos grasos oleico, linoleico y linolénico es muy parecida, además se puede utilizar como bases para aderezos y la pasta deshidratada se puede emplear en mezcla con otros ingredientes para tener un producto rehidratable tipo guacamole bajo en calorías o algún producto tipo “dip” para botanas.

Basándose en la hipótesis que el aceite en los vegetales se encuentra dentro de las células ligado a otras macromoléculas, se puede realizar una extracción del aceite mediante una hidrólisis parcial utilizando una mezcla de poligalacturonasas,  $\alpha$  amilasa y proteasas. La pasta de aguacate es tratada con sulfito de sodio y BHA para prevenir la oxidación enzimática (Figura 43).



**Figura 43. Diagrama de proceso para extracción enzimática de aceite de aguacate.** Fuente: Buenrostro y López (1986).



### 3.1.1.2. Congelados

La calidad de la pulpa congelada de aguacate se puede ver afectada por la madurez del fruto. Sin embargo lo recomendable es que el fruto tenga un contenido del 15% de aceite como mínimo, para garantizar un buen producto final (Olaeta y Rojas, 1987).

### 3.1.1.3. Polvo

Debido a la sensibilidad del aguacate, la liofilización es la mejor opción para secar el fruto, permitiéndole conservar sus características sensoriales y nutricionales. Se ha investigado a eficiencia de la rehidratación para conocer la calidad final y ésta depende del tipo de producto y sus características así como factores relativos al medio de inmersión como: la temperatura, agitación y composición. La capacidad de rehidratación se refiere a la cantidad máxima de agua que el producto es capaz de tomar en la inmersión. De acuerdo a Arriola *et al.* (2006), los aspectos que influyen en la rehidratación son: la madurez del fruto, a mayor madurez el fruto es mas higroscópico; para tiempos de congelación menores a 10 horas, la velocidad y capacidad de rehidratación son independientes de la temperatura del medio de inmersión; las mejores condiciones para rehidratar el aguacate liofilizado se tiene con un medio de inmersión de 25° C con tiempo de congelación menor a 10 horas (Arriola *et al.*, 2006).

Debido a le necesidad de conservar las propiedades características del aguacate durante un tiempo prolongado y a temperatura ambiente, se ha patentado el método de obtención de aguacate en polvo el cual resulta novedoso y presenta la ventaja de ser libre de aditivos y ocupar menor espacio en el almacenamiento.

El proceso de obtención del aguacate en polvo consta de una serie de operaciones o etapas que concluyen con la pulverización y el envasado del producto final, evitando la oxidación de las grasas y la descomposición de los compuestos característicos que le confieren al aguacate su color, olor y sabor, sin afectar sus propiedades tanto nutricionales como organolépticas.

El proceso se deshidratación se realiza por medio de liofilización, el cual es adecuado para alimentos sensibles que sufren daños en su estructura, apariencia y sabor con tratamientos a altas temperaturas (Figura 44).

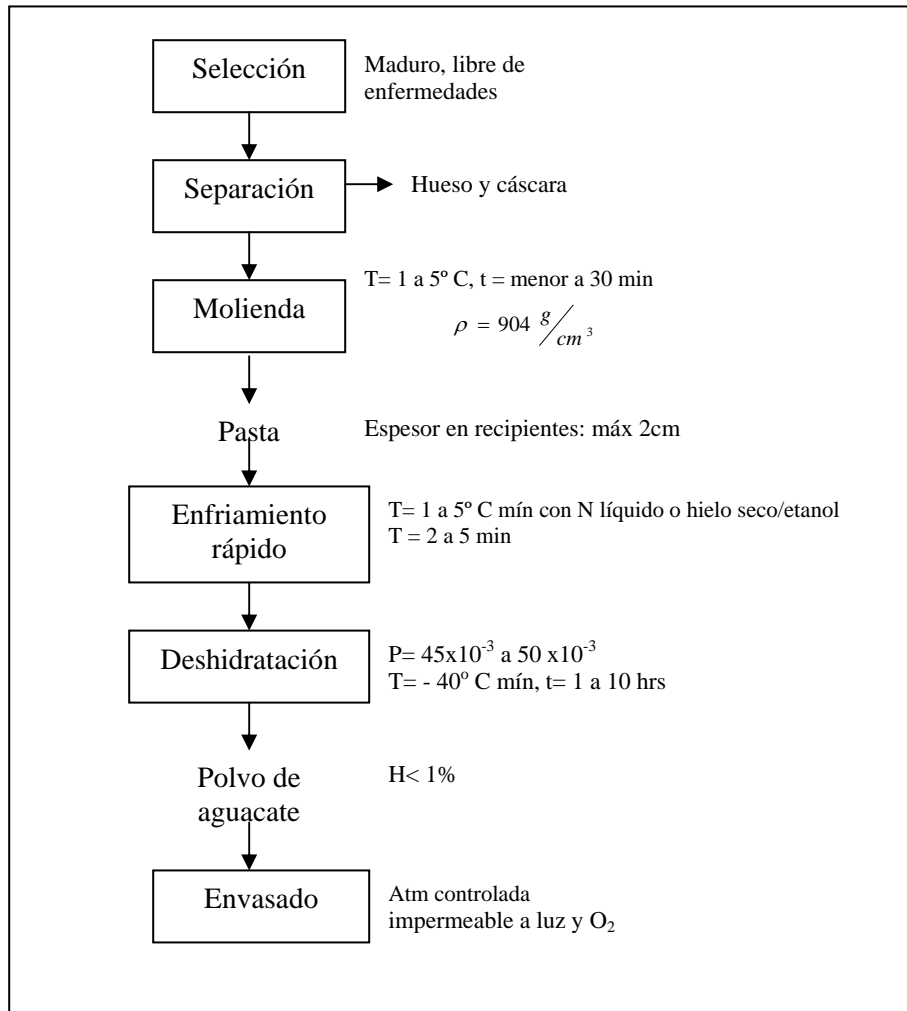


Figura 44. Diagrama de proceso de polvo de aguacate obtenido por liofilización. Fuente: Arriola *et al.* (2006)

El aguacate en polvo puede emplearse en la industria alimenticia para consumo humano y servir como materia prima para la elaboración de otros productos alimenticios, tales como cremas, malteadas, base para helados, mousse, mantequillas, mermeladas, licuados, guacamoles, en forma de botana o dip, salsas. Además en la industria textil como pigmento o colorante natural obtenido del aguacate en polvo, en la industria cosmética como materia prima utilizando el aceite contenido en el aguacate en polvo para la elaboración de cremas, cremas exfoliantes, shampoo, aceites para bebés, perfumes, y en la industria farmacéutica en la extracción de componentes activos gracias a que no contiene ningún aditivo que modifique sus características. Sin embargo, se puede enriquecer con algún aditivo como vitaminas, minerales, proteínas, antioxidantes, conservadores, espesantes, colorantes o algún otro químico que se le adicione al producto final (Díaz *et al.*, 2006).

Phillips (2007), desarrolló otra patente acerca de la obtención de polvo de aguacate con un proceso diferente a la liofilización. El cual consiste en el secado por aspersión de una suspensión de pulpa de aguacate proceso se muestra en la figura 45:

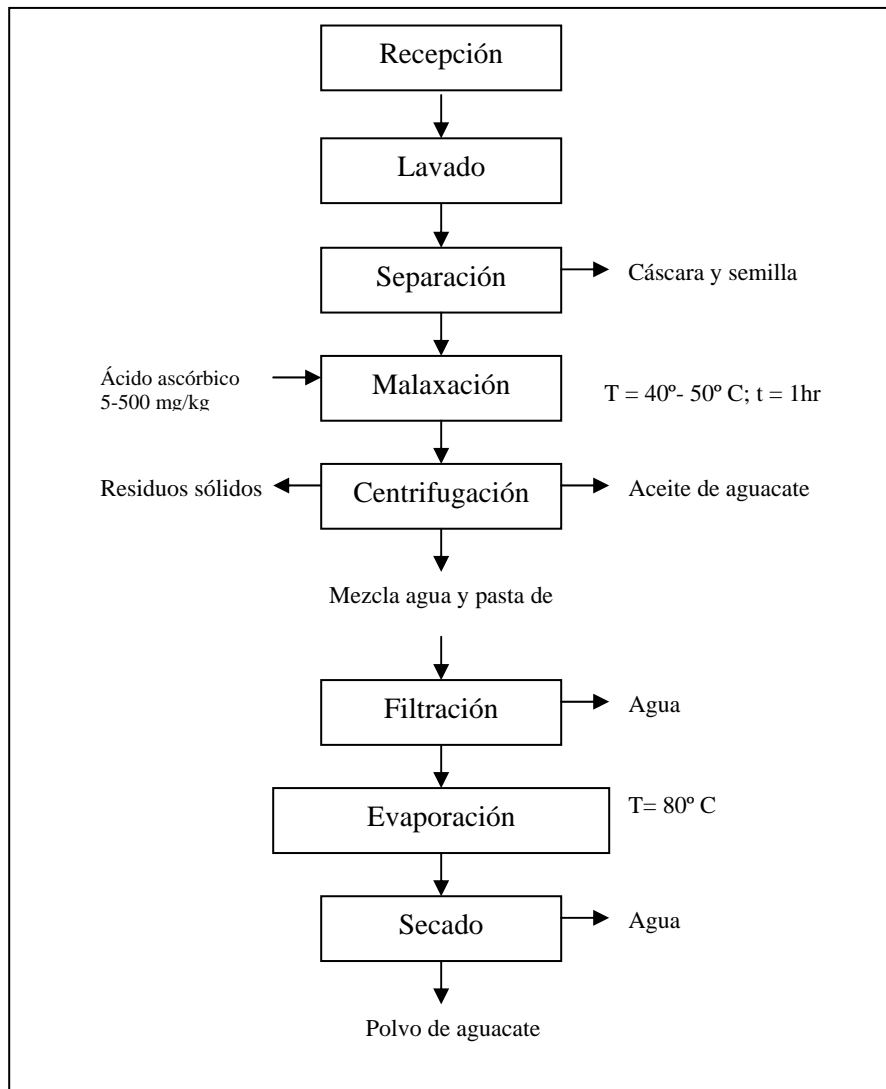


Figura 45. Diagrama de proceso de aguacate en polvo por deshidratación por atomización. Fuente: Phillips (2007)

#### 3.1.1.4. Harina

Debido al aspecto desagradable causado por el oscurecimiento enzimático, el aguacate no se comercializa ampliamente en forma procesada, éste ocurre por la acción de múltiples enzimas que oxidan en catecol a orto quinonas originando compuestos de color oscuro, la principal enzima responsable es la polifenoloxidasas así como la peroxidasa.

Existen varios métodos para evitar el oscurecimiento enzimático como inhibidores químicos que controlan la acción de la polifenoloxidasas o de compuestos que actúan sobre sus sustratos. Para alimentos mínimamente procesados se utilizan productos naturales como ácido cítrico, ácido ascórbico, ácido eritórbito, L-cisteína, y para la industria en procesos mayores, se incluyen inmersiones en ácido cítrico, ácido ascórbico y cloruro de sodio. Sin embargo, estos métodos resultan limitados y únicamente retardan los efectos indeseables de la oxidación es por esta razón que Jiménez (2005), plantea la obtención de una harina estable, que mejoren su transporte y almacenamiento.



La pulpa de aguacate se somete al proceso de deshidratación y adición de conservadores naturales y químicos para obtener una harina estable que puede ser almacenada a temperatura ambiente, la cual puede consumirse sola o combinada con otros ingredientes para aumentar su valor nutritivo (Figura 46).

Los conservadores que se utilizan en esta patente se muestran en la Tabla 18:

Tabla 18. Conservadores utilizados en harina deshidratada estabilizada

Conservador	Porcentaje en peso (respecto al peso total de la harina)
Ajo deshidratado	0.009 al 1.81 %
Cebolla deshidratada	0.009 al 1.81 %
Chile jalapeño deshidratado	0.009 al 1.81 %
Ácido ascórbico	0.009 al 1.36 %
Ácido cítrico	0.009 al 1.36 %
Ascorbato de sodio	0.009 al 1.36 %

La harina de este desarrollo tecnológico, se utiliza en mezcla con productos derivados como el guacamole, o en productos como mermeladas, barras de chocolate, dulces o caramelos macizos o salsas picantes.

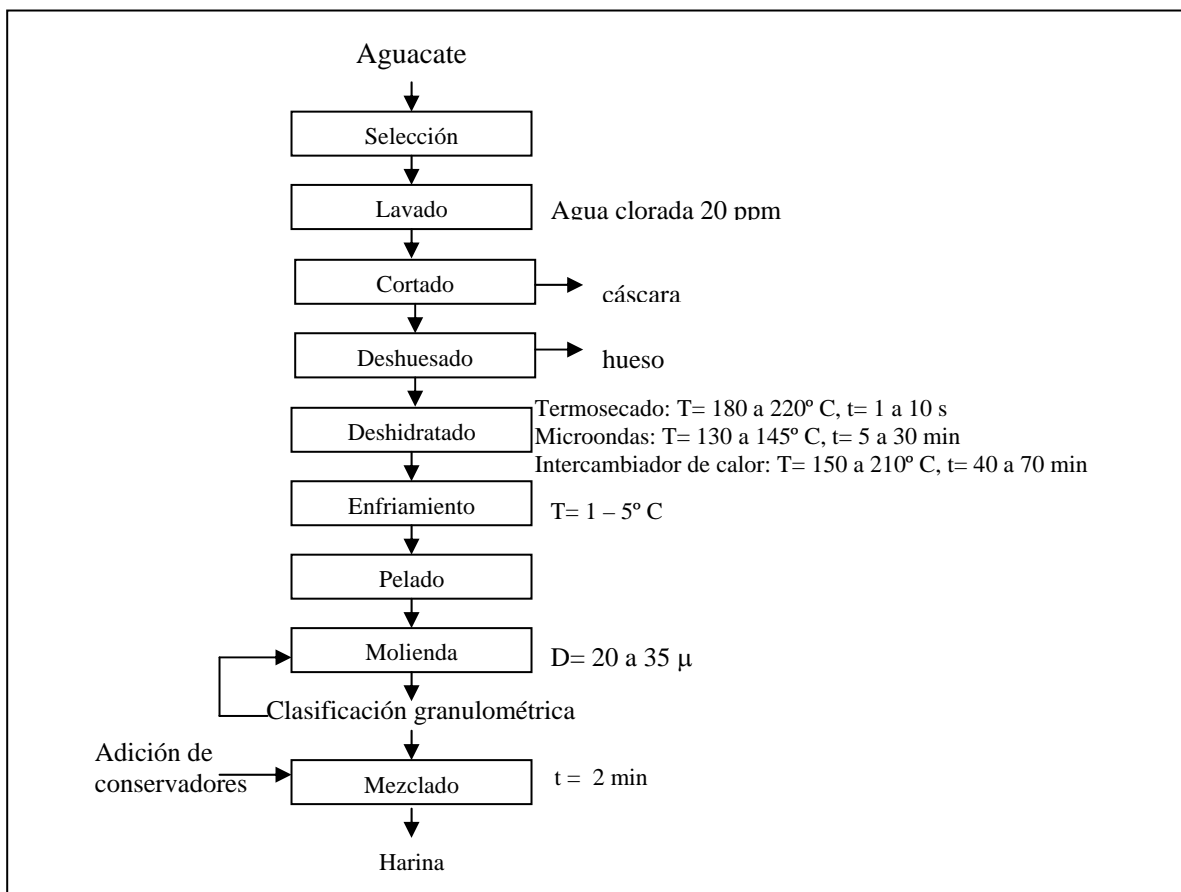


Figura 46. Diagrama de proceso para obtención de harina estabilizada. Fuente: Jiménez (2005)



Jiménez (2005), patentó un proceso para la obtención de harina estable de pulpa de aguacate mediante deshidratación y adicionada con conservadores naturales y químicos. La harina obtenida tiene una vida de anaquel prolongada a temperatura ambiente y permite conservar las propiedades organolépticas típicas de aguacate.

La composición de harina permite que su consumo sea directo o en combinación con otros ingredientes alimenticios, tales como verduras, líquidos alimenticios o sus variantes (Jiménez, 2005).

### 3.1.1.5. Pasta/ Guacamole

El Aguacate es un alimento que puede ser consumido en fresco, garantizando la ingesta total de sus nutrientes, sin embargo, existen algunos conservadores que permiten alargar su vida útil.

El uso del ácido ascórbico y sulfito de sodio permiten mantener la pasta de aguacate por quince días evitando la pérdida de vitaminas, y la desnaturalización de las proteínas, que habitualmente sufren la mayoría de los alimentos durante su procesamiento y cocción., pero el sabor y aroma característico sólo lo mantiene por 10 días utilizando una concentración de 330.9 ppm de sulfito de sodio y 4902 ppm de ácido ascórbico (Mercado *et al.* , 2006).

La problemática central de la industrialización del aguacate en forma de pasta o guacamole es que sufre un rápido obscurecimiento enzimático durante el procesamiento y almacenamiento, fenómeno de oxidación bioquímica catalizada por enzimas específicas (fenolasas o polifenoloxidasas) que están presentes en la misma pulpa . Hilpert (1993), estudió los cambios que se presentan en las propiedades físicas (textura y color) y sensoriales de la pasta de aguacate, al aplicar agentes antiobscurecimiento como son el ácido ascórbico y el sulfito de sodio, después de mantener las muestras bajo almacenamiento refrigerado, teniendo como resultado que en el color, la luminosidad se mantiene por efecto de la concentración del sulfito de sodio, el color verde disminuye con los días de almacenamiento refrigerado pero se mejora por el efecto de la concentración del ácido ascórbico y del sulfito de sodio.

Para el procesamiento de aguacate fresco en pulpa o de guacamole existe un método por medio del cual la pulpa mezclada se coloca en una cámara de alta presurización para alcanzar el vacío y luego liberar lentamente la presión para posteriormente ser envasada donde es sometida parcialmente a un segundo vacío dentro del mismo recipiente donde se ha sido envasada antes de sellar dicho envase (Hilpert, 1993).

Los productos derivados del aguacate, como son los purés tipo guacamole, congelados o refrigerados, fueron introducidos hace aproximadamente 10 años y han aumentado su popularidad en Estados Unidos y Canadá. De los métodos más actuales para la conservación del aguacate está el método de ultra presión, en el cual se expone la pasta de aguacate a presiones que van alrededor de 87 000 psi (600 MPa), con lo que se eliminan todos aquellos microorganismos que pueden causar el deterioro de la pasta de aguacate, sin embargo no se reporta su efecto en el obscurecimiento enzimático (Ortiz *et al.*, 2003).





Para el tratamiento de alimentos tipo purés o pastas resulta conveniente usar intercambiadores de calor de superficie raspada debido a que este tipo de alimentos contienen sólidos en suspensión que forman depósitos y presentan comportamientos reológicos no newtonianos (Ortiz *et al.*, 2003).

Son muy pocos los trabajos relativos a tratamientos térmicos, sin embargo estos coinciden en el hecho de que la aplicación de calor favorece la oxidación de las grasas, el cambio en el color por la degradación de la clorofila y la formación de sustancias amargas. A pesar que se ha comentado que la temperatura tiene un efecto negativo en las propiedades sensoriales de la pasta de aguacate, se sugiere entonces, el empleo de un método térmico con características especiales sobre la pasta de aguacate, que no afecte considerablemente las características de calidad de la pasta, ofreciendo barrera contra los microorganismos y el oscurecimiento enzimático (Ortiz *et al.*, 2003).

Las condiciones mínimas de operación en el intercambiador de calor de superficie raspada para desactivar la polifenol oxidasa son 73 ° C durante 10 minutos y las máximas 85 ° C durante 4.6 minutos. Esta pulpa durante el almacenamiento tiende a degradarse hacia el color amarillo, de igual forma a 84° C se tiene una estabilidad microbiológica durante el almacenamiento (Ortiz *et al.*, 2006).

Para conservar la pulpa de aguacate, Elías de Téllez (1990), desarrolló una patente perteneciente al Instituto Mexicano del Petróleo, que describe un procedimiento para preparar una mezcla de aditivos para conservarla. El proceso consiste en el pesado de cada uno de los reactivos que componen la mezcla, por cada 100 partes en peso de pulpa de aguacate, posteriormente se realiza el mezclado de todos los componentes, pulverizado y mezclado de la composición (Figura 47).

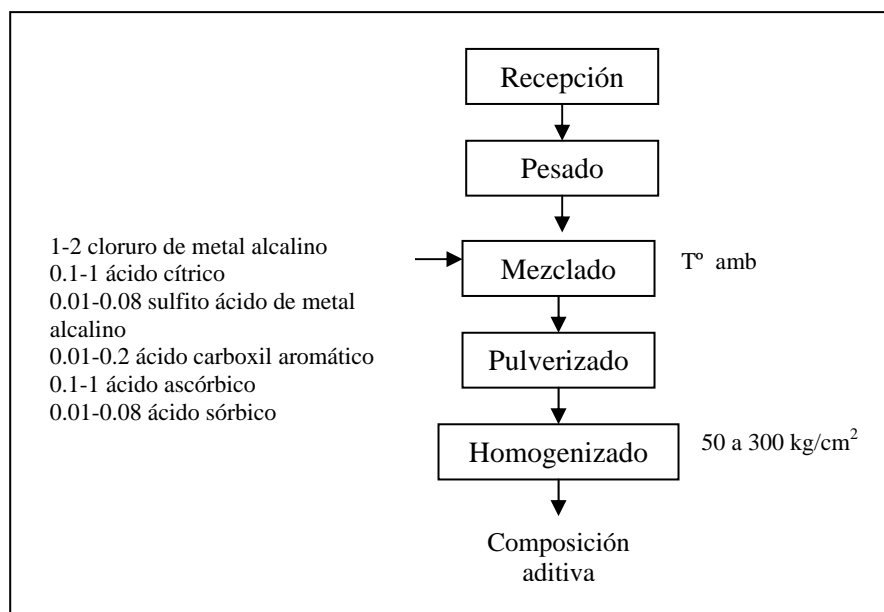


Figura 47. Diagrama de proceso para composición aditiva para conservar la pulpa de aguacate. Fuente: Elías de Téllez y Ladrón de Guevara (1990)



Otra patente de guacamole, consiste en un método de estabilización el cual permite su almacenamiento a temperatura ambiente en donde además de la pulpa de aguacate se utiliza el tomatillo con un proceso de calentamiento por 10 minutos y una temperatura de 85° C (Brito, 1997).

Madrigal (2006), registró el guacamole y su método de obtención, definiéndolo como una emulsión con estructura pastosa y cuya composición comprende el aguacate, agua, hidrocoloides entre ellos carragenatos, grasas vegetales, sal, especias, ácido, proteínas animales y lácteas, desecante, limón en polvo, saborizantes, antioxidantes y conservadores.

El proceso tiene como operaciones básicas la preparación de un condimento, el mezclado y la homogenización para posteriormente empacar el producto con atmósfera controlada, atmósfera modificada al vacío y posteriormente su refrigeración (Figura 48).

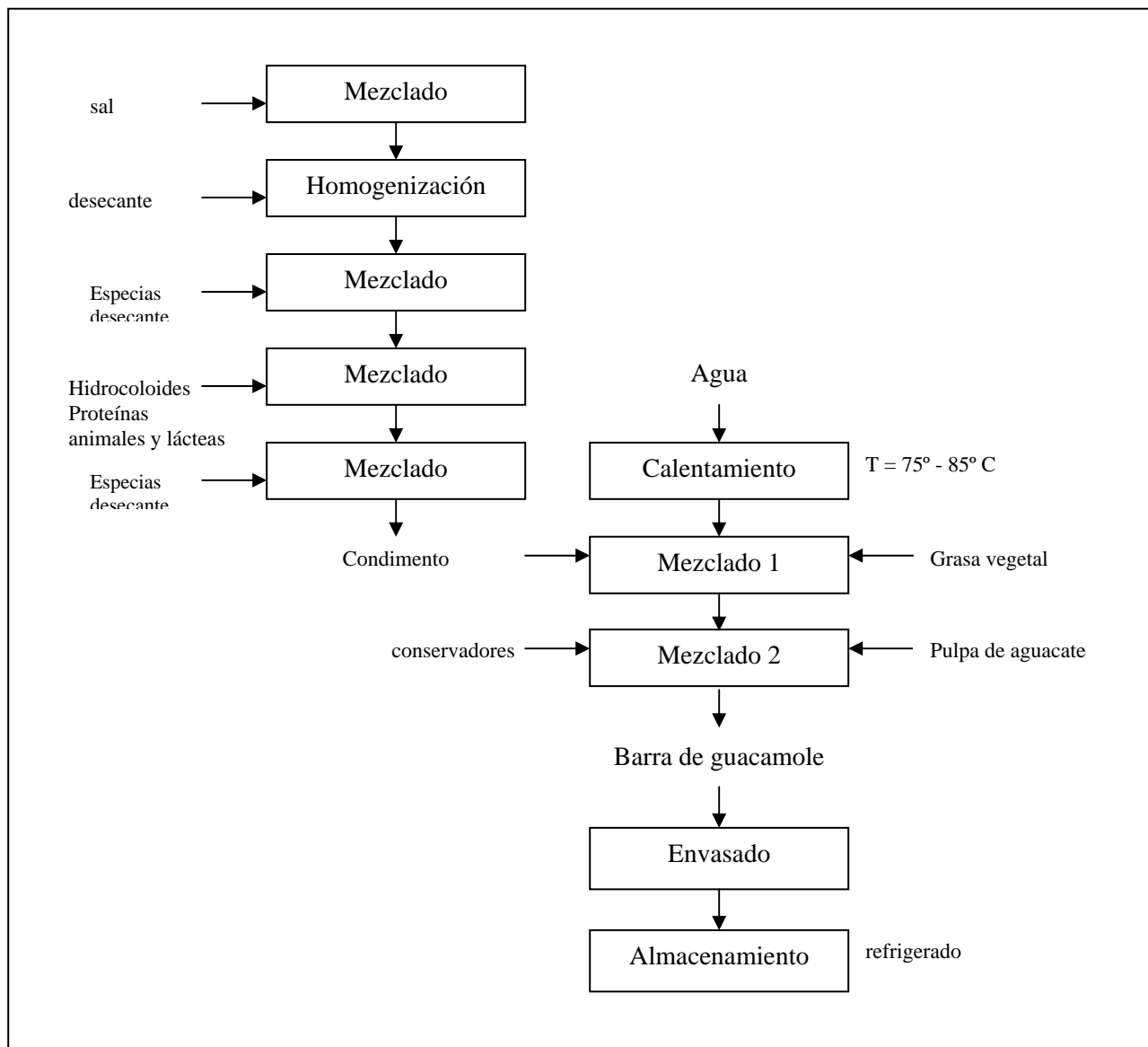


Figura 48. Diagrama de proceso de barra de guacamole. Fuente: Madrigal (2006)



### 3.1.1.6. Sustituto de grasa

Como alternativa al consumo de cárnicos, Rueda *et al.* (2006), formularon salchichas de cerdo substituyendo el 50% del lardo con pasta de aguacate tratada con eritorbato de sodio o ascorbato de sodio, mas un control sin aditivos, con el objetivo de reducir o mejorar el balance de ácidos grasos con la incorporación de grasas o aceites de origen vegetal. Esto surgió debido a que la mayoría de los productos cárnicos procesados contienen en su formulación concentraciones relativamente altas de grasas insaturadas, por lo que muchas veces su consumo se ve restringido por cuestiones de salud. Las salchichas se elaboraron de manera estándar y fueron empacadas al vacío (Rueda *et al.*, 2006).

La sustitución de grasa animal es importante para mejorar la calidad nutricional de los alimentos de origen animal. Tradicionalmente, los embutidos contienen cantidades relativamente altas de grasas insaturadas, por lo que se ha buscado la sustitución parcial o total de estas con grasas o aceites de origen vegetal. El aprovechamiento del aguacate como fuente de grasa vegetal es una alternativa para este tipo de productos. El uso de eritorbato de sodio en la elaboración de pasta de aguacate ha reducido el oscurecimiento de la pasta durante su congelación, sin afectar mayormente otros parámetros de color del producto terminado.

Para evitar la oxidación u oscurecimiento enzimático en la pasta de aguacate durante su elaboración se utiliza 0.1% (p/p) de ácido cítrico o eritorbato de sodio como antioxidantes. El proceso consiste en elaborar pastas a partir de aguacates frescos y maduros, retirándoles la cáscaras el hueso, homogenizándola con el respectivo antioxidante. Posteriormente las pastas se congelan inmediatamente después de elaboradas a -20 °C en bolsas de polietileno y después de 3 días se incorporan a la formulación de las salchichas.

Se integró la carne con los ingredientes de la formulación más la mitad del hielo en un procesador de alimentos durante 2-3 minutos. Posteriormente, se adiciona la pasta de aguacate y el lardo en una proporción de 1:1.3 (p/p), con el resto de hielo y se homogeniza por 5 minutos controlando la temperatura del batido a  $10 \pm 2$  °C. Los batidos son embutidos en tripas de celulosa y cocidos a 70 °C durante 15 min., enfriados en baño de hielo y almacenados a 4 °C en bolsas de polietileno para evitar pérdidas de humedad, muestreando a los 1, 3, 6 y 9 días. Se elaboraron dos lotes de 0.5 kg de cada tratamiento.

La elaboración de las salchichas consiste en integrar la carne con los ingredientes más la mitad del hielo en un procesador en un tiempo de 2 a 3 minutos. La formulación de las salchichas se encuentra descrita en la tabla 19:



Tabla 19. Formulación de salchichas

Ingrediente	Porcentaje
Carne de cerdo	43.00
Lardo	13.00
Pasta de aguacate	17.00
Hielo	15.00
k- Carragenina	0.50
Dextrosa	0.25
Fosfatos de sodio	0.25
Concentrado de suero de leche	8.50
Pimienta blanca	0.10
Cilantro	0.15
Sal cura	0.50
Sal	2.25

Fuente: Rueda *et al.* (2006)

La sustitución de lardo por pasta de aguacate con antioxidantes no modifica las características de color de los productos finales. El uso de antioxidantes como el eritorbato de sodio en la elaboración de pasta de aguacate reduce el grado de oxidación durante su almacenamiento congelado, ya que al incorporar estas pastas tratadas la vida de anaquel de este tipo de salchichas de cerdo puede ser mejorada, sin detrimento en su coloración o problemas de oxidación de lípidos, además de ser un ingrediente común en productos curados (Rueda Lugo *et al.* 2006).

Por otra parte, Cabello *et al.* (2008), proponen un preparado lácteo en donde la grasa animal de la leche de vaca, oveja o cabra, se suplementa o se sustituye total o parcialmente por aceite de aguacate con la finalidad de obtener un producto incorporado con ácidos grasos insaturados. A este preparado se le añade como aditivo vitamina E con la función de antioxidante, siendo un producto que ayuda a controlar el nivel del colesterol y prevenir enfermedades cardiovasculares en los consumidores.

A pesar que se puede utilizar otros aceites vegetales para este preparado, se prefiere el aceite de aguacate ya que por medio del índice de yodo se ha determinado que tiene mayor cantidad de insaturaciones (dobles enlaces) aún comparándolo con el aceite de oliva por lo que la formación de colesterol es reducida.

En la siguiente tabla se muestra la comparación del aceite de oliva y aguacate (Tabla 20).



Tabla 20. Ácidos grasos presentes en el aceite de oliva y de aguacate

Componente	Aguacate	Oliva
<b>Ácidos grasos saturados</b>	<b>11.56</b>	<b>13.45</b>
16:0 (palmítico)	10.90	10.93
18:0 (esteárico)	0.66	1.98
<b>Ácidos grasos monoinsaturados</b>	<b>70.55</b>	<b>73.90</b>
16: 1 (palmitoleico)	2.66	1.16
18:1 (oleico)	67.89	72.29
<b>Ácidos grasos poliinsaturados</b>	<b>13.48</b>	<b>10.00</b>
18:2 (linoleico)	12.53	9.21
18:3 (linolénico)	0.96	0.79

Fuente: Cabello *et al.* (2008)

El proceso de elaboración consiste en un mezclado de la leche con el aceite, y posteriormente una homogenización. La leche utilizada es desnatada o semidesnatada según sea la sustitución total o parcial de la grasa animal, adicionándolo en un 8% oveja en peso para leche de, 6% para leche de cabra y 3.5% para leche de vaca. Cuando se utiliza como suplemento de la leche entera, el aceite se adiciona hasta que el producto final tenga un intervalo de 4 a 12% de materia grasa (Cabello *et al.*, 2008).

### 3.1.1.6.1. Margarina

Eger y Neeman (2000), realizaron mezclas de aceites vegetales o un solo aceite para la formulación de una margarina, entre las cuales el aceite de aguacate tiene un uso importante, en mezcla con un monoglicérido emulsificante con la finalidad de solidificar el aceite y tener un producto para consumo humano; los monoglicéridos utilizados son de preferencia derivados del ácido oleico o palmítico, los cuales son disueltos en el aceite a una temperatura de 68 a 70° C. El aceite en esta formulación se encuentra en una cantidad del 93 al 96% y de acuerdo a la solidez deseada en el alimento se puede cambiar la proporción utilizada de monoglicérido aunque se considera adecuada el uso del 4 al 7%. Además a esta formulación se le pueden agregar agentes que mejoren la textura como la vitamina E en una cantidad máxima del 0.05%, así como saborizantes.

El proceso de manufactura de esta margarina se plantea como una alternativa por no presentar altos costos al no utilizar hidrogenización ni altas presiones; éste consiste en cuatro pasos que son: mezclado, calentado, homogenización y enfriado. Este producto es estable a la temperatura de 4° C (Eger y Neeman, 2000).



### **3.1.1.7. Suplementos**

Broutin *et al.* (2007), patentaron un método para extraer selectivamente lípidos de furano y alcoholes grasos polihidroxilados de aguacate con la finalidad de utilizarlos en productos cosméticos, con fines terapéuticos o como suplemento alimenticio.

El proceso consiste en preparar una materia no saponificable de aguacate, posteriormente someterla a un paso de destilación molecular utilizando medios de temperatura y presión ajustados para obtener ya sea un destilado comprendido principalmente de lípidos de furano y alcoholes grasos polihidroxilados de aguacate. Este método permite en la extracción selectiva de lípidos de furano de aguacate debido a su alto contenido mayor que 80% en peso, incluso cercano al 98% (Broutin *et al.*, 2007).

Para controlar los niveles de insulina se tiene un suplemento a base de manoheptulosa que es un azúcar de siete carbonos que se encuentra naturalmente el aguacate, y para este suplemento se prefiere el isómero dextro de la misma. La hexoquinasa es una enzima que cataliza la fosforilación de la glucosa-6-fosfato (G6P) que es la primera reacción de la glicólisis. Es por esta razón que la ingestión de manoheptulosa es un método lógico para reducir los niveles de insulina. El suplemento puede presentarse en tabletas, cápsulas, soluciones, suspensiones, etc. Además de reducir los niveles de insulina, se utiliza como suplemento para bajar de peso.

La extracción de esta azúcar se realiza por medio de etanol y puede ser directa o indirectamente del fruto, se pueden obtener diversos isómeros y mezclas, las cuales se pueden seleccionar con métodos físicos como la cristalización (Chapnick y Linda, 2004).

#### **3.1.1.7.1. Alimento animal**

Recientemente, Hayek *et al.* (2005) y Maximino *et al.* (2005), patentaron composiciones de alimento para animales domésticos, las cuales abarcan un componente seleccionado o el extracto del material de planta del aguacate solo o en mezcla con otras plantas como: la alfalfa, higo, primavera, etc.

Los estudios han indicado que la restricción de la aportación calórica por la privación del alimento retrasa ciertos procesos celulares indeseables en animales asociados al envejecimiento y enfermedades relativas a la edad. El aguacate es rico en manoheptulosa, así como en otros azúcares y carbohidratos, y éstos compuestos ayudan a mantener un nivel adecuado de glucemia (glucosa en sangre), disminuyen el colesterol y mejora el perfil lipídico (la composición de las grasas) en sangre.

El proceso para prepara la composición consiste en una mezcla de la fruta con enzimas en especial hemicelulasa, celulasa y pectinasa para facilitar la maceración y se realiza en combinación con calor, la separación de las fracciones presentes para obtener un extracto, la concentración de dicho extracto por cualquier método ya sea vapor, aire caliente, etc, y finalmente la combinación con otros componentes para el alimento animal. En este proceso se obtiene un extracto con 4.5% de manoheptulosa (Figura 49).

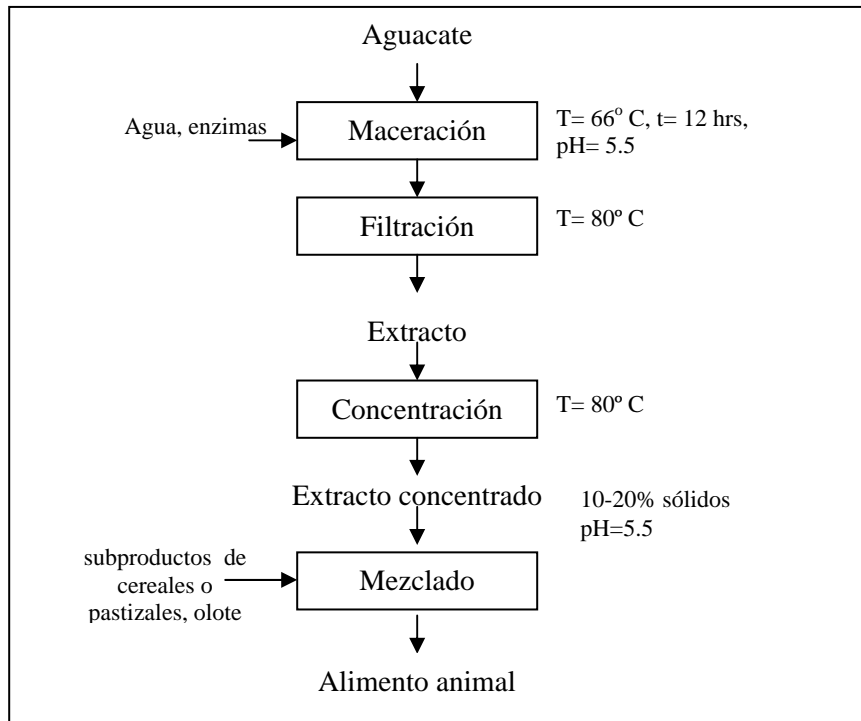


Figura 49. Diagrama de proceso para la obtención de un extracto para alimento animal. Fuente: Hayek *et al.* (2005); Maximino *et al.* (2005).

### 3.1.1.8. Medicamentos

Debido a la gran demanda de productos contra la caída del cabello Cisneros (1997), patentó un tónico capilar para la regeneración de cuero cabelludo, el cual está constituido en un 70% por aceite vehicular de aguacate en mezcla con otros aceites esenciales que debido a su alto poder penetrante ayuda a la eficiencia del producto.

Uno de los principales mediadores del daño renal causado por la diabetes mellitas, es una poderosa citocina llamada por sus siglas en inglés: TGF- $\beta$  (Transforming Growth Factor; Factor Transformador del Crecimiento). Además regula la respuesta inmune y tiene funciones de cicatrización (Vilchis *et al.*, 2003).

Las interacciones de las células con su entorno son fundamentales para el buen funcionamiento e integridad de los tejidos, ya que éstos no solo están conformados por células sino que además contienen una red de componentes proteicos denominada matriz extracelular (MEC). La MEC es una estructura dinámica que está en constante remodelación (síntesis de nuevos componentes y degradación). Esta remodelación depende de varios mecanismos, como el sistema de activación plasminógeno/plasmina, el cual participa en la degradación de algunos componentes de la MEC, como la fibrina y algunas colágenas. Un componente importante de este sistema es la proteína PAI-1 (Inhibidor del activador del plasmígeno humano), encargada de regular dicho sistema, inhibiendo a la plasmina y, consecuentemente, evitando la degradación de la MEC. Algunas alteraciones en la regulación de este sistema se asocian a diversos procesos patológicos como fibrosis, trombosis y aterosclerosis, entre otras (Nolasco *et al.*, 2007).



Considerando lo anterior, además del uso cosmético y como aditivo para alimento humano o animal, los componentes insaponificables del aceite pueden utilizarse para la preparación de medicamentos como lo plantea Msika *et al.* (2005), en su patente utilizando el uso de un componente insaponificable del aceite para la preparación de un medicamento destinado a estimular la expresión del TGF-beta o la expresión del inhibidor PAI-1 del activador del plasminógeno (Msika *et al.*, 2005).

Otro medicamento que se puede obtener del aguacate es destinado para el tratamiento y prevención de enfermedades que se relacionan con una alteración en inmunidad innata y adquirida, a través de un incremento en la producción de péptidos antimicrobianos, preferiblemente hBD-2 (Beta defensina humana -2), sin inducir reacciones inflamatorias, irritaciones o intolerancias. Este medicamento está compuesto por un extracto peptídico de aguacate y que también comprende una composición que contiene D-manoheptulosa y/o perseitol, tal como un extracto soluble en agua de azúcares de aguacate, y/o un extracto peptídico de lupina.

Los péptidos antimicrobianos son moléculas pequeñas de 10 a 50 aminoácidos, capaces de destruir variedades de microorganismos como bacterias Gram (+) o Gram (-), hongos, virus, etc, al permeabilizar sus membranas celulares. La estimulación de péptidos antimicrobianos puede mejorar y restaurar la inmunidad natural en la piel, complementando el sistema de defensa y acelerando la curación de la misma.

Msika *et al* (2005, 2007), descubrieron que una composición que comprende un extracto de péptido de aguacate hace posible incrementar los péptidos antimicrobianos.

El extracto de péptido de aguacate se puede obtener directamente de cualquier parte del aguacate o árbol de aguacate, así como de sus subproductos como pulpas, tortas residuales de la extracción de aceite, residuos sólidos de plantas que procesan puré, etc (Figura 50).



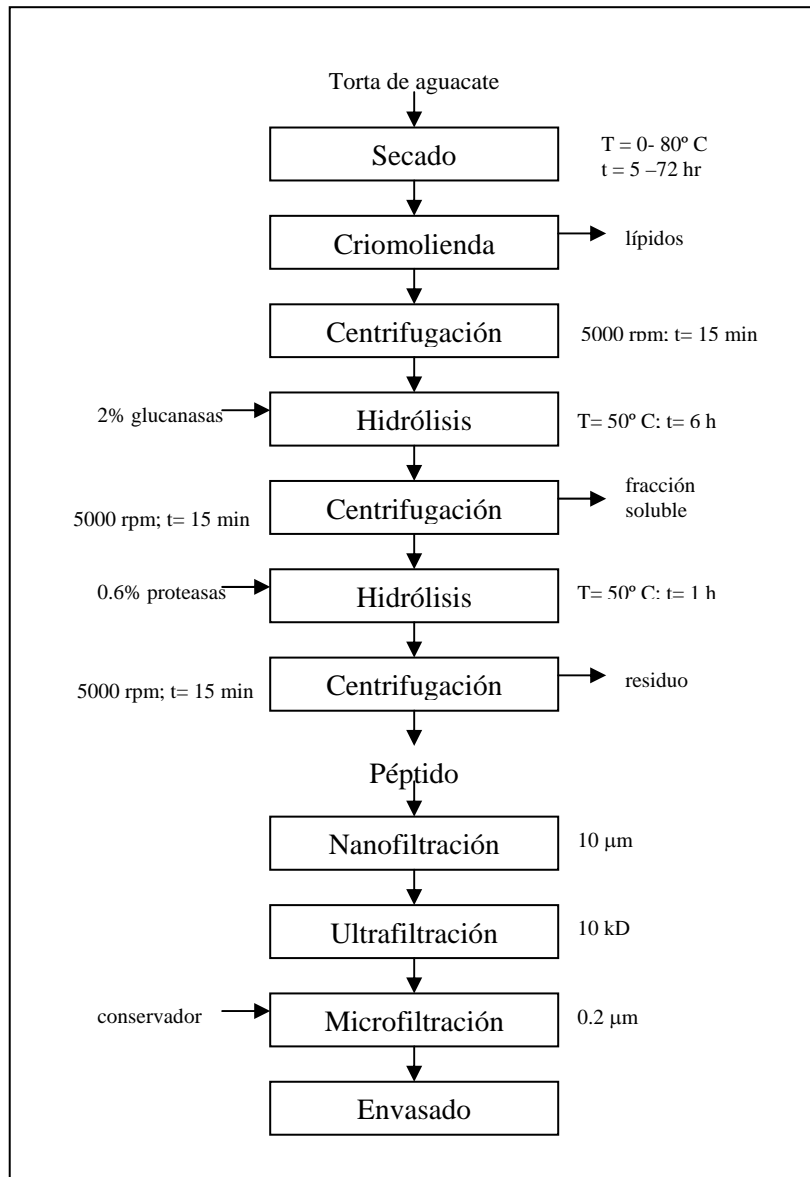


Figura 50. Diagrama de proceso para extracto de péptido de aguacate. Fuente: Msika *et al.* (2007).

Se tiene un método para extraer selectivamente lípidos de furano y alcoholes grasos polihidroxiados de aguacate, cuyo procedimiento consiste en preparar una materia no saponificable del aguacate sometiéndola a un paso de destilación molecular ajustando temperatura y presión. Con este método se tiene en particular una extracción de lípidos de furano con un contenido de 80 a 98% en peso, a diferencia de técnicas como cromatografía o procedimientos industriales en donde se obtiene entre 50 y 65% en peso de éstos compuestos (Figura 51).

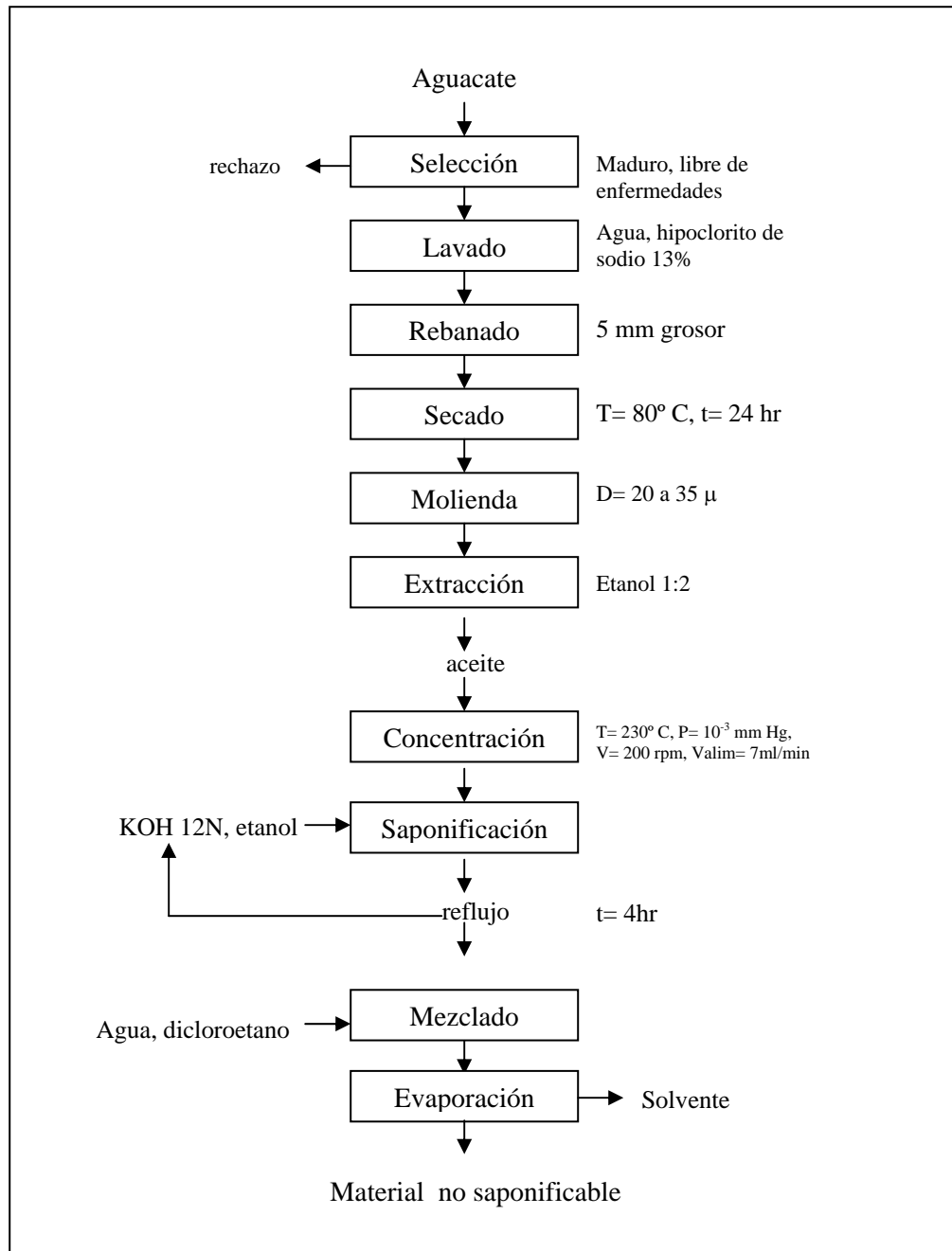


Figura 51. Diagrama de proceso para extraer material no saponificable a partir de aceite de aguacate. Fuente: Broutin (2002)

Con esta invención se tienen aportaciones a la industria farmacéutica, principalmente un producto para tratar dolores articulares como la artritis, la osteoporosis, reparación tisular, además es utilizado como compuesto cosmético para tratamiento de cicatrices en la piel y como aditivo alimenticio para consumo humano o animal (Broutin, 2002).



### 3.1.1.9. Cosméticos

El aceite de aguacate es conocido dentro del área farmacéutica por su efectividad en los tratamientos dermatológicos, es por esta razón que se puede aprovechar un polvo cosmético a partir del aguacate y su fracción insaponificable, el cual es utilizado en el tratamiento para combatir el acné con los beneficios de no deshidratar la piel, regular la producción de grasa, reducir la inflamación de las lesiones y además ser económico (Gode *et al.*, 2004).

El polvo contiene de 0.1 a 1% en peso de materia insaponificable del aguacate y el proceso consiste en la mezcla con otros ingredientes y una compactación opcional del polvo (Figura 52).

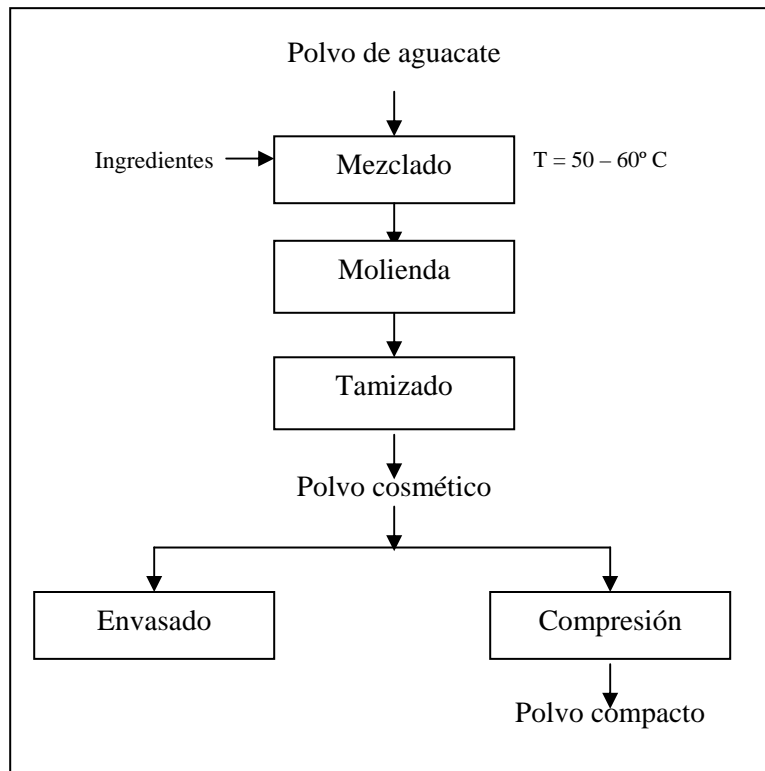


Figura 52. Diagrama de proceso para polvo cosmético a partir de compuestos insaponificables de aguacate. Fuente: Gode *et al.* (2004)

El aceite de aguacate como uso cosmético tiene gran auge en la actualidad, la empresa L'OREAL, ha patentado una composición cosmética protectora contra las radiaciones ultravioleta, con una de longitud de onda comprendidas entre 280 y 320nm. Esta composición se caracteriza por su contenido de 15 a 99.5% en peso de aceites de semilla, hasta un 60% de aceites vegetales filtrantes y no filtrantes, seleccionados de entre aceites de ajonjolí, calabaza, colza, cacahuete, germen de trigo, jojoba, de maíz, aguacate, soya, uva, girasol y avellana, y hasta un 5% en peso de filtrantes solares liposolubles seleccionados entre derivados de ácido salicílico, ácido cinámico, ácido paraaminobenzóico, benzofenona y alcanfor (Grollier y Pessis, 1988).



Además del aceite para uso cosmético y alimentario, se tiene registrada una invención de un aceite orgánico utilizado con fines terapéuticos; éste presenta una mayor concentración de ácidos grasos de cadena larga que de ácidos grasos de cadena corta. Este aceite es muy utilizado en la industria farmacéutica en el tratamiento de heridas, infecciones, quemaduras, picaduras de insectos y otros problemas dermatológicos. Además el aceite de aguacate de uso terapéutico es preferido sobre otros aceites de este tipo por su poder de penetración en la piel lo cual aumenta la efectividad del producto (Le Lay *et al.*, 2007).

El proceso consiste en la extracción del aceite donde la clorofila es removida y posteriormente éste se somete a un tratamiento de ozono mediante un aparato con tres contenedores que se muestra en la figura 53, se representan por 12, 14 y 16, cada uno contiene el aceite. Se tiene un generador de ozono a la entrada del primer contenedor y se activa para generar el ozono, el cual es burbujeado a través del aceite (Figura 54).

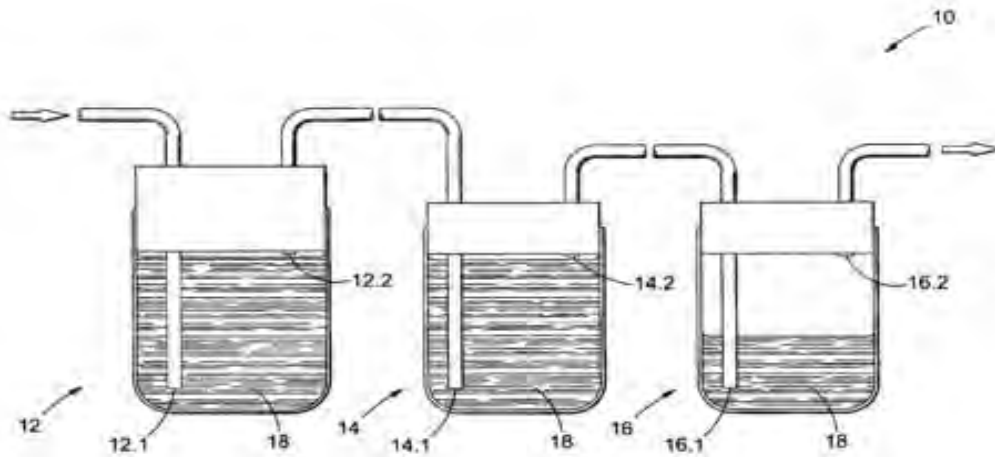


Figura 53. Contenedores de aceite sometido a ozonificación

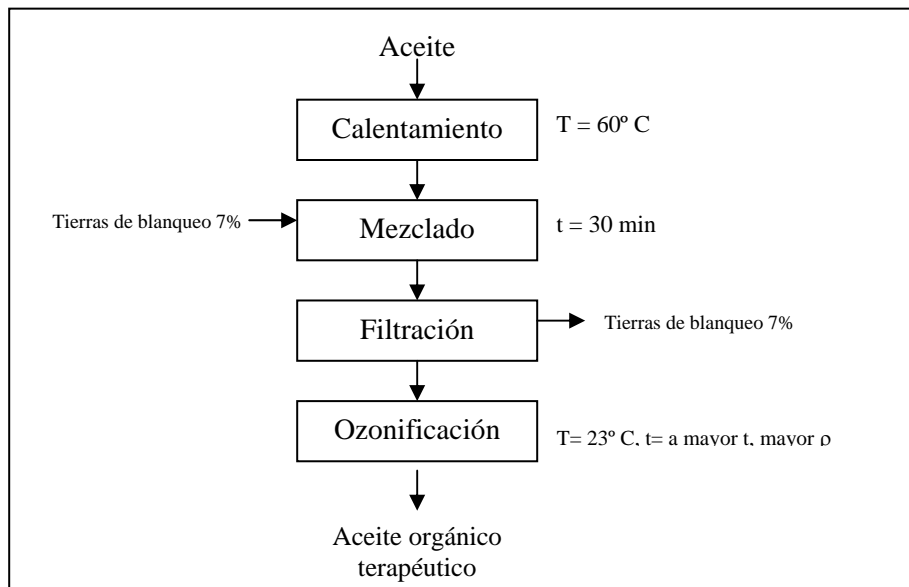


Figura 54. Diagrama de proceso para aceite terapéutico de aguacate. Fuente: Le Roux (2006)



Existe una patente que consiste en la formulación de un preparado de compuestos insaponificables del aguacate y soya en una composición de 0.01 % a 0.05% , utilizada para la protección de la piel contra agentes contaminantes del ambiente, en específico para inhibir la apoptosis que consiste en una muerte o “suicidio” celular. Esta se realizó mediante la simulación de la síntesis de ATP y previniendo potencialmente el rompimiento de la membrana mitocondrial en la piel.

Este invento se utiliza preferentemente en tratamientos tópicos como cremas, geles, aceites, etc, aunque también se puede utilizar en formulaciones para administración oral en adición con otros componentes como vitaminas (Schlosser *et al.*, 2001).

Otro método para la extracción de los materiales no saponificables del aceite es el inventado por Bardet *et al.* (2005), el cual es utilizado para aceite de soya y aguacate mediante el cloro-1-butano que es un solvente orgánico. El proceso consiste en dos etapas; la primera consiste en la saponificación en donde el aceite es transformado en una solución hidro-alcohólica, la segunda es una etapa de extracción de la solución hidro-alcohólica mediante el cloro-1-butano (Bardet, 2005).

Con el conocimiento de que la vitamina A o retinol ayuda a la recuperación del envejecimiento dérmico es deseable su uso en tratamientos cutáneos, sin embargo, ésta es estructuralmente muy inestable por lo que ha sido difícil la realización de una formulación para estos tratamientos. Por esta razón, Yanagida y Sakamoto (2005) estudiaron y patentaron el uso de un aceite vegetal insaturado como estabilizante de la vitamina A además contiene otros componentes que dan alternativas para obtener productos de forma líquida, gel, pasta, crema polvo y sólida.

Sin embargo, a pesar se lo anterior se encuentra registrado el uso del aceite de aguacate en una crema para el cuidado de la piel, la cual contiene vitamina A. El proceso se describe a continuación (Figura 55):

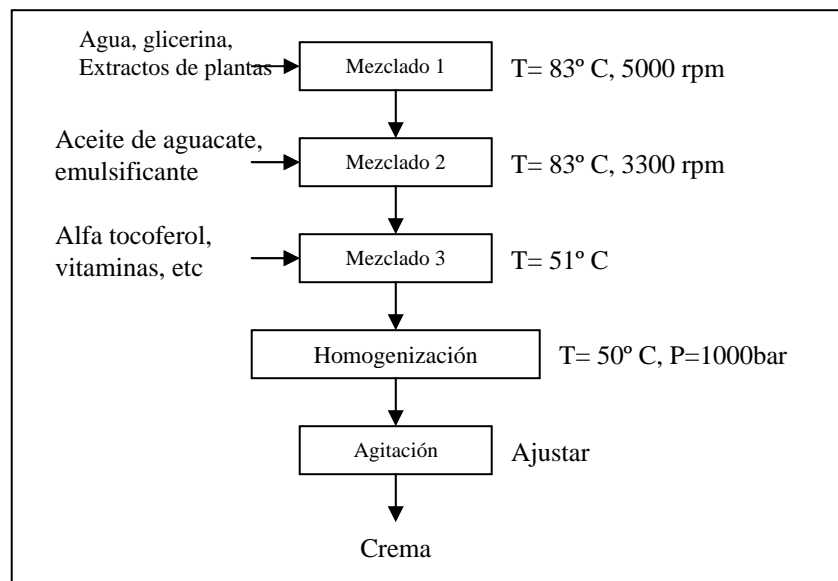


Figura 55. Diagrama de proceso para la obtención de una crema para la piel con contenido en vitamina A. Fuente: Kjaergaard (2002).



Actualmente la industria de cosmético ocupa la lanolina y sus derivados para la formulación de sus productos, ésta es un producto natural que tiene una composición muy compleja basada en ácidos grasos, esteroides, esteroides y alcoholes, los cuales en conjunto le dan las propiedades que la hacen útil para dicha industria como el olor y el sabor. Se tiene una formulación de lípidos que puede ser utilizada como un sustituto de la lanolina, la cual tiene uso en productos cosméticos. El proceso propuesto por Norberg *et al.* (2003), consiste en la mezcla de materia insaponificable del aceite vegetal en una cantidad no menor al 2% en peso con una mezcla polar de ésteres de ácidos grasos.

Para obtener la materia insaponificable, la acetona u otro solvente se añade al aceite vegetal crudo o refinado, de esta forma la fracción insaponificable es precipitada y puede ser separada del solvente. Ésta puede someterse al proceso de hidrogenación para aumentar su punto de fusión y aumentar la adhesividad además de mejorar su estabilidad contra la oxidación. En sustituto de la lanolina, se mezcla con componentes como emolientes, colorantes y aromas para obtener productos para el cuidado de la piel, el cabello, productos de baño y cosméticos (Norberg *et al.*, 2003).

El aceite de aguacate en una proporción del 0.1 al 10% en mezcla con otros aceites como el de soya y jojoba además de un agente antifúngico (2,4,4'-tricloro-2'-hidroxi-difenil-éter), se utiliza en una formulación antimicrobiana para las manos. El rango preferido de aceite de aguacate corresponde es del 1 al 5% del peso total de la formulación.

El proceso propuesto por Beaurline (2003), únicamente consiste en la mezcla de todos los aceites así como otros componentes activos, seguido por agitación lenta para obtener un producto que se aplica directamente en la cutícula de las uñas.

### **3.1.1.10. Extractos**

Se tiene registrada una patente que utiliza un extracto de aguacate, este se encuentra dentro de una composición para el cuidado del cabello.

Los extractos de aguacate también son utilizados en composiciones para el cuidado del cabello como shampoo, acondicionadores, mousse, etc y de acuerdo a Bigatti y Claus (2005), el porcentaje de éste en las diferentes formulaciones es del 0.01%.

### **3.1.2. Semilla**

La semilla representa de un 15 a 16 % del total del fruto, en consecuencia se desperdician aproximadamente 148 000 toneladas anualmente. Sin embargo para que estos productos puedan ser consumidos por el ser humano deben estudiarse los factores de riesgo, así como una posible actividad farmacológica. El análisis fitoquímico de la semilla de aguacate mostró presencia de taninos y azúcares reductores. La dosis letal media (DL<sub>50</sub>) tuvo un valor mayor a 2000 mg/kg, lo que corresponde a un producto ligeramente tóxico. También se realizó un estudio



en ratones en el cual se demuestra que hay una disminución del 55 % de movilidad espermática, por lo que se podría utilizar la semilla de aguacate como un anticonceptivo natural para varones a corto plazo.

A la semilla de aguacate se le han atribuido varias propiedades cosmetológicas y farmacéuticas:

- *Propiedades farmacológicas:* Debido a la presencia de ácidos grasos, compuestos polifenólicos y esteroides, ha sido usada desde épocas precolombinas contra padecimientos tales como dolores musculares, parásitos y micosis.
- *Propiedades cosmetológicas:* La semilla tostada y pulverizada se emplea en el tratamiento de la caída de cabello y para el tratamiento de la caspa (Pahua *et al.*, 2007).

### 3.1.2.1. Aceite

Para la extracción de aceite de la semilla de aguacate presenta como alternativa a la extracción con solventes, el prensado en frío siguiendo de su refinación física. Para este proceso se toma en consideración un artículo que extrae el aceite de la semilla de corozo o nolí, sin embargo, éste puede ser aplicable a la semilla de aguacate (Figura 56 y Figura 57).

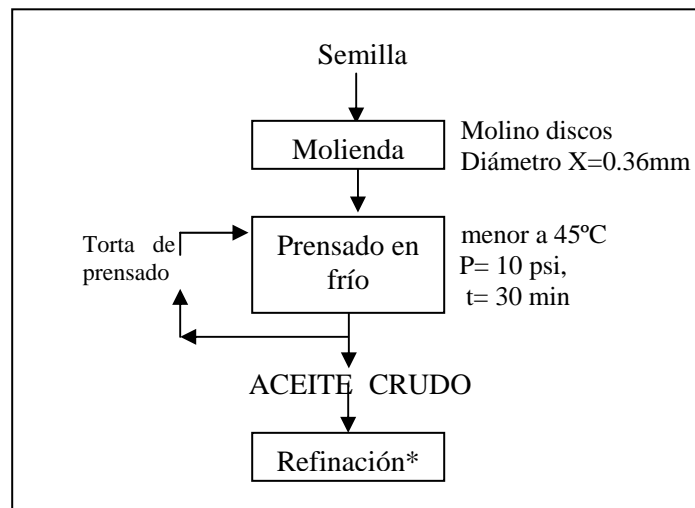


Figura 56. Diagrama de proceso de extracción de aceite por prensado en frío

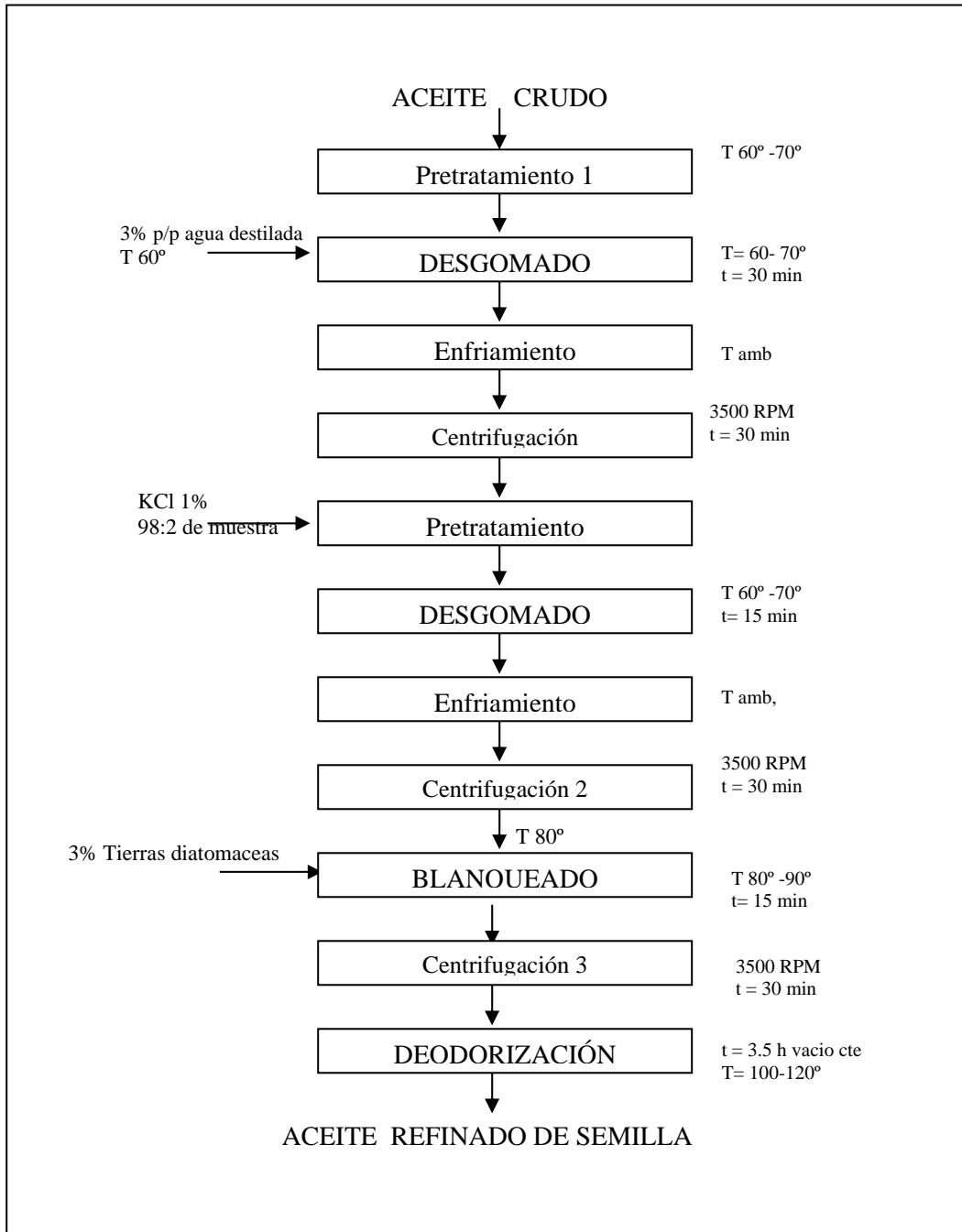


Figura 57. Diagrama de proceso de refinación de aceite

Con respecto al proceso de refinación anterior en la siguiente tabla se muestra el rendimiento por etapas (Tabla 21)





Tabla 21. Rendimientos de las etapas del refinado físico

Etapas del proceso de refinación física		Rendimiento $\pm$ 0.01 (%)
<b>Desgomado</b>	Tratamiento con 3% p/p de agua, 60-70° C, por 30 minutos.	93.83
	Tratamiento con cloruro de potasio al 1%, 60-70° C, por 15 minutos.	89.32
	Proceso total de desgomado.	83.80
<b>Blanqueado</b>	3% p/p de tierras de blanqueo, 80-90° C, por 30 minutos.	91.49
<b>Desacidificación/ Desodorización</b>	Alto vacío, 100-120° C, por 3.5 horas.	99.29
<b>Refinado</b>		76.12

Fuente: Hernández y Mieres (2005)

Con la finalidad de conocer la cantidad de aceite que contiene la semilla de aguacate, se han probado métodos de extracción con hexano y CO<sub>2</sub> supercrítico con la que se extrae aproximadamente la misma cantidad de grasa, 3.08 y 3.07% respectivamente (Figura 58).

En el aguacate el pericarpio está formado de tres capas: exocarpio (cáscara), mesocarpio (pulpa) y endocarpio junto a la cubierta seminal. El endocarpio se compone de pocas capas de parénquima de células aplanadas tangencialmente que a menudo se adhieren a la testa.

Las células del parénquima, en las semillas, almacenan almidón (gránulos fundidos o agrietados en cotiledones y en el endospermo), proteínas (esferas o cuerpos pequeños e irregulares), o aceites (elaioplastos o en esferosomas). La testa madura consiste de epidermis externa, células de taninos y remanentes del xilema cuyos elementos conductores, las traqueidas, pueden contener cantidades considerables de células ricas en azúcares, grasas o proteínas. El esclerénquima de la testa es abundante con esclérides (también llamadas células pétreas) de varios tamaños, éstas células son generalmente alargadas, pueden formar masas continuas en pequeños grupos o solas alrededor de otras células, son de pared gruesa, secundaria y a menudo lignificada. Se distinguen dos formas principales, las esclérides (varían en forma) y las fibras (que son generalmente largas).

El embrión contiene nutrientes de reserva, orgánicos e inorgánicos, localizados alrededor del embrión o en sus mismos tejidos; contiene aproximadamente el 50% del aceite de la semilla y antes de germinar presenta una situación citológica que indica inactividad, esto es la presencia de proteínas y lípidos de reserva .

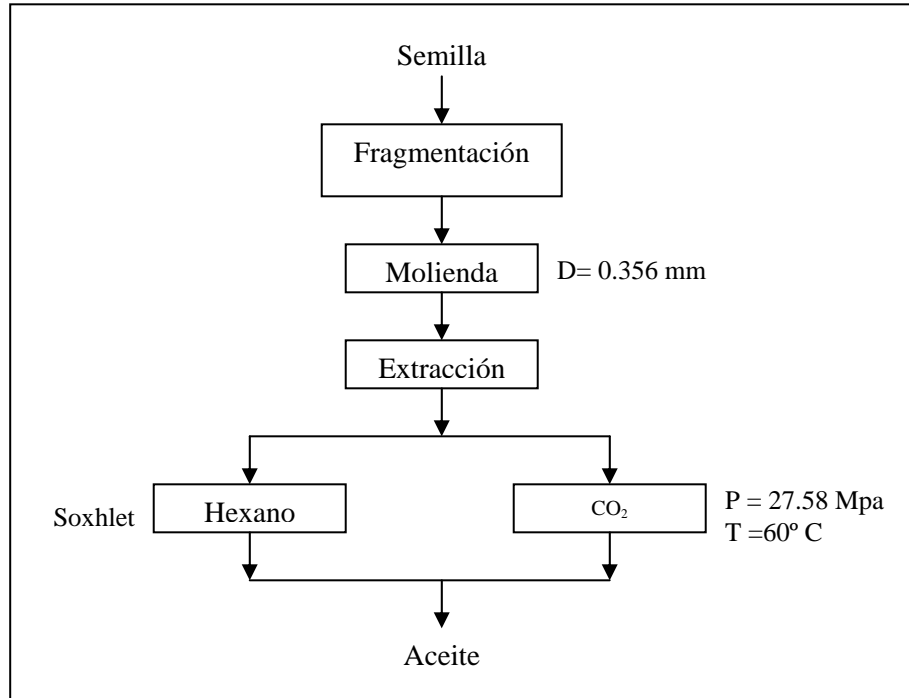


Figura 58. Diagrama de proceso para extracción de aceite de semilla de aguacate. Fuente: García *et al.* (1999)

Del aceite de semilla de aguacate se pueden obtener insaponificables los cuales pueden ser utilizados en productos como cremas, geles, jabones, repelentes de insectos, pesticidas, fragancias, etc, además no solo para uso y consumo humano también para productos destinados a animales (Hill, 2005).

Se tiene un proceso de fraccionamiento de aceites vegetales, entre los cuales se encuentra el aceite de aguacate, con la finalidad de obtener un producto enriquecido en compuestos insaponificable para uso en confitería y emulsiones en la industria de alimentos. La parte insaponificable del aceite comprende los lípidos no polares o semipolares, hidrocarburos y ceras y generalmente se extraen con éter de petróleo después de una hidrólisis alcalina.

De igual forma, los componentes insaponificables de los aceites vegetales son utilizados en preparaciones cosméticas y farmacéuticas.

Los aceites vegetales funcionan como materia prima debido a que contienen componentes activos que pueden ser concentrados. El aceite de semilla de aguacate contiene dichos componentes insaponificables que pueden enriquecerse mediante el proceso mencionado por lo que este aceite debe ser refinado para preservarlos.

El principal aspecto de dicha invención consiste en una mantequilla que contiene del 64 al 85% de di y triglicéridos y del 15 al 33% en peso de componentes insaponificables. Otro aspecto importante es el aceite que contiene de componentes insaponificables un porcentaje del 1.5 al 5% y el resto corresponde a di y triglicéridos. Una las propiedades de dicho aceite es la propiedad de protección contra rayos UV, además de una función que previene la inflamación e irritación en la piel (Alander *et al.*, 1999).



Los procesos de hidrólisis son aplicados a productos que tienen un alto contenido de insaponificables, mínimo 6% del peso total. Los productos hidrolizados tienen uso farmacéutico y cosmetológico debido a que son agentes bioactivos y buenos medios de transporte de otros agentes que ayudan al cuidado de la piel y el cabello.

El aceite de semilla de aguacate según Brown *et al.* (2001), contiene un 57% de materiales insaponificables, por lo que su uso resulta atractivo en cremas, protectores solares y otros productos cuyo destino sea el cuidado y protección de la piel.

En el caso de grasas vegetales se realiza un refinado del aceite teniendo como pasos: el desgomado en presencia de ácido fosfórico, la neutralización con adición de hidróxido de sodio teniendo la separación de jabones y ceras, el blanqueado a una temperatura de 100° C y finalmente la deodorización a una temperatura de 180 a 220° C mediante el uso de vapor a una presión de 532 Pa, realizada con la finalidad de remover los compuestos volátiles. En la patente de Brown *et al.* (2001), no se realiza la neutralización y los ácidos grasos libres son removidos durante la etapa de deodorización.

El proceso más utilizado para la elaboración de jabón es un método continuo donde los ácidos grasos y el álcali se mezclan en proporciones para realizar la saponificación, éste proceso depende de la temperatura y el tiempo de contacto, teniendo como producto con una concentración de jabón del 60 al 65% y alrededor del 35% de agua y trazas de sal y glicerina. Posteriormente se realiza un secado para tener una humedad final del 12 al 16 % (Brown *et al.*, 2005).

### 3.1.2.2. Colorante

Los colorantes están presentes en casi todas las plantas, algunos son producidos directamente por la actividad fisiológica de las plantas, mientras que otros son producto de transformaciones artificiales de sustancias de procedencia vegetal. Los que se encuentran ya formados en la naturaleza, suelen estar disueltos o formando depósitos granulares en las células superficiales de las plantas. Los colorantes vegetales se encuentran concentrados en las vacuolas celulares de un sin número de plantas, en donde a su vez sin encontrarse en estado puro, se asocian con otros principios como aceites, resinas y en particular con los taninos que son de carácter astringente.

El uso de la vegetación por algunas comunidades es el soporte económico de su comunidad, se ha estudiado la extracción de colorantes como alternativa de aprovechamiento con la finalidad de que éstas obtengan un mayor beneficio de la producción del aguacate.

El proceso consiste en la molienda de la semilla, para su posterior mezclado con agua en proporción 1:1, hasta su punto de ebullición, para después agregarle un mordiente a la mezcla y así obtener el colorante. Algunos colorantes teñirán mejor sólo después de que la célula haya sido tratada con otra sustancia química, que no es un colorante por sí mismo. Esta sustancia se denomina mordiente. El mordiente se combina con un constituyente celular y lo altera de tal modo que ahora sí podrá atacar el colorante (Sánchez, 2008).



La efectividad del mordiente con el colorante en telas y fibras vegetales, depende de la afinidad química o complemento que exista entre estas moléculas, por lo cual se necesita hacer pruebas con las mismas especies u otras, pero utilizando otros mordientes como bicarbonato, ácido cítrico, ceniza, etc. La coloración que se produce a partir de la semilla de aguacate, es mayor y vistosa cuando estos órganos presentan bastante madurez. A parte de esto, es posible que se obtenga una coloración diferente y de mejor calidad, si se hacen pruebas con las hojas y tallos de estas especies (Pino *et al.*, 2003).

Por su naturaleza química, los colorantes pueden ser inorgánicos y orgánicos. La importancia de los colorantes de origen vegetal había decaído con la aparición de los colorantes sintéticos en el mercado derivados del petróleo, del aluminio y del carbón. Sin embargo en la actualidad se buscan colorantes naturales como sustitutos de los artificiales debido a que en algunos países se han prohibido los colorantes de origen mineral y sintéticos porque, en algunos de ellos, se han encontrado indicios de efectos nocivos para la salud.

Un producto interesante que se ha obtenido en el laboratorio es el colorante a partir de la semilla del Aguacate utilizando una solución de hidróxido de sodio al 0.5% p/v (peso/volumen) para la extracción. Hasta el momento este colorante debe permanecer en solución porque si se seca a temperaturas elevadas se degrada. Por esta razón es importante que el secado se haga por atomización, que tiene la ventaja que el material permanece a alta temperatura por un periodo de tiempo muy breve.

De la semilla del aguacate, se extrae un jugo que es una tinta indeleble que sirve para marcar ropa; para ello se saca el jugo fresco y se lleva directamente a la tela que se desea marcar, escribiendo sobre ella para dejarla secar. Se ha encontrado que, de acuerdo con el pH de la solución y el mordiente empleado, se obtienen cinco colores diferentes que presentan muy buena estabilidad en telas de algodón, Nylon y mezcla lana-poliéster, en lácteos y harinas, sin embargo aún no hay referencias del uso industrial de este colorante.

De acuerdo con la importancia de los colorantes naturales en el mercado mundial y la necesidad de obtenerlos en polvo, para facilitar su transporte y dosificación, con un tratamiento de secado bajo condiciones que no dañen el producto, el secado por atomización resulta una alternativa para la obtención del colorante.

Para extraer el colorante de las semillas del aguacate, éstas se lavan previamente para retirar los restos de pulpa y otras impurezas, para luego molerlas en un molino de discos con el fin de obtener una masa de consistencia pastosa. Esta masa se pone en contacto con el solvente en el tanque de extracción, a temperatura moderada (menor de 100° C) que prevenga la degradación del colorante. Para obtener el mayor rendimiento posible deben determinarse la relación sólido-solvente y el tiempo de agitación. La solución obtenida se filtra con ayuda de una tela elástica para obtener el colorante en solución muy diluida y una torta de semilla como residuo. Esta solución se concentra y luego se evapora a sequedad para conocer el contenido de sólidos en ella (Devia, 2005).

De la semilla del aguacate se extrae un colorante, una antocianina, que sirve para teñir tejidos naturales y alimentos. La semilla contiene perseína, un monosacárido de siete átomos de carbono de valor



quimiosistemático, epicatequina (un flavonoide), taninos condensados, que son formas poliméricas derivadas de la epicatequina y una proantocianidina trimperica que otorga un color violeta (Figura 59).

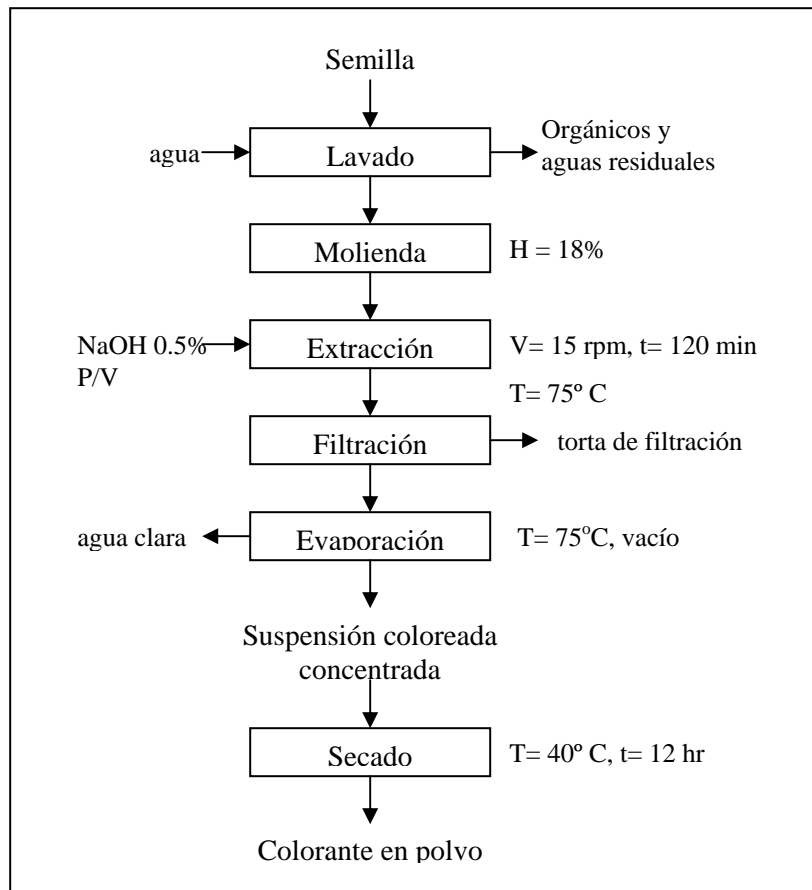


Figura 59. Diagrama de proceso para extracción de colorante a partir de la semilla de aguacate. Fuente: Devia *et al.* (2005).

El colorante obtenido a partir de la semilla se emplea para teñir fibras textiles de poliamida y algodón utilizando mordientes vegetales como los taninos de la corteza de eucalipto; en alimentos se puede utilizar en leche y derivados, en harinas. Además sirve de colorante de tizas, crayones, cosméticos y medicinas.

Este proceso puede ser empleado en una pequeña industria y con inversiones relativamente bajas de acuerdo a Devia *et al.* (2005).

### 3.1.2.3. Medicamento

Penagos (1995), propuso un producto para el tratamiento de venas y úlceras varicosas en donde se emplea la semilla de aguacate entre otros productos naturales.

El procedimiento consiste en el secado en horno de la semilla de aguacate y un mezclado con otras semillas (Figura 60).

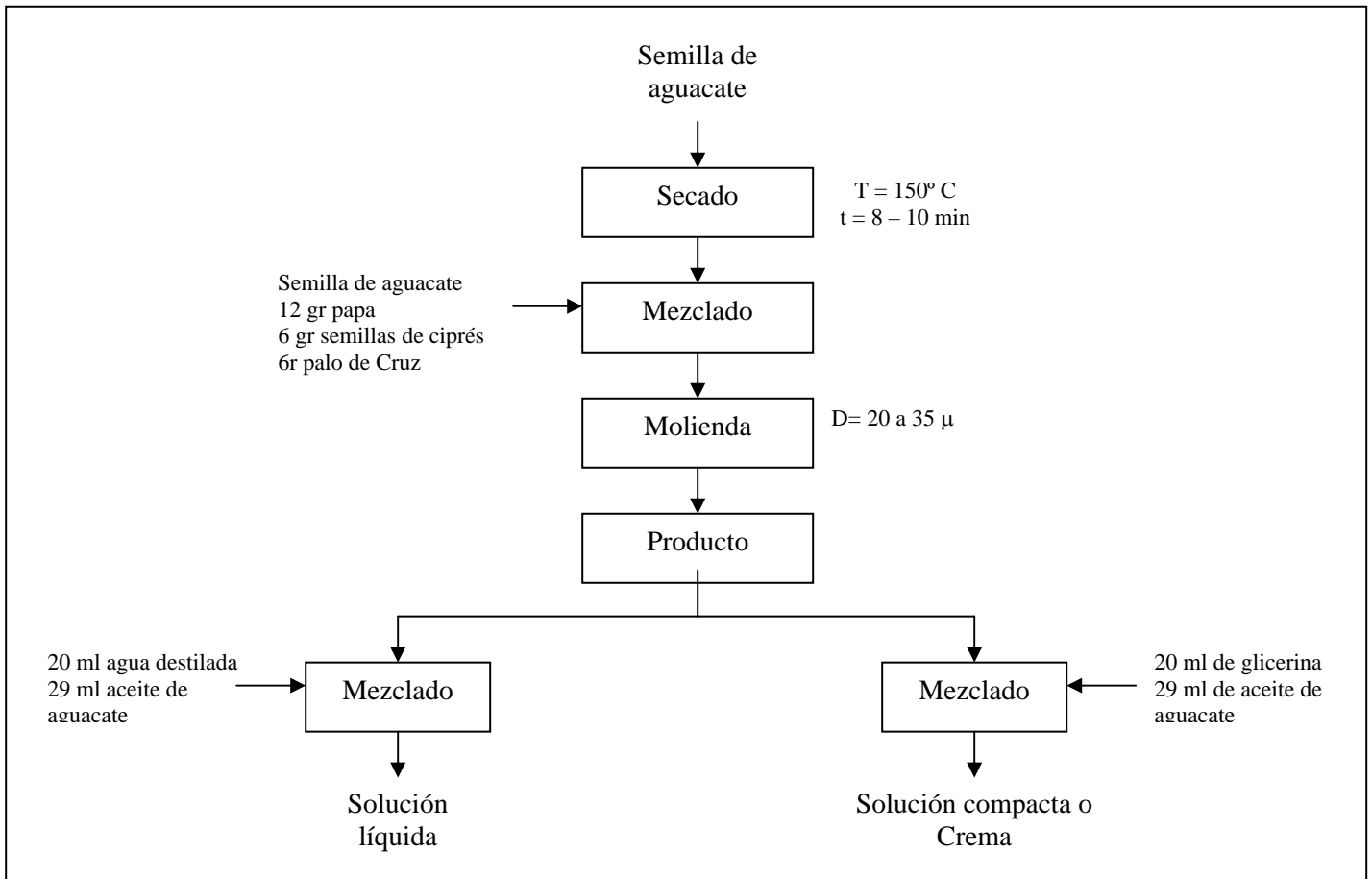


Figura 60. Diagrama de proceso de producto para tratar venas y úlceras varicosas. Fuente: Penagos (1995)

### 3.1.3. Cáscara

#### 3.1.3.1. Sustitutos

En muchos de los procesos que involucran la industrialización de frutas no todas sus partes son utilizadas al máximo, aun y cuando estos desechos son destinados algunas veces como fertilizantes orgánicos se cree que puede haber un uso de mayor provecho tanto económicamente para la empresa como en la calidad o características del producto procesado. Se han realizado investigaciones donde se da el panorama de los distintos compuestos presentes en la cáscara del aguacate midiendo el aumento de compuestos en la cáscara conforme aumenta el periodo de maduración del aguacate.

Los compuestos encontrados son: Caryophyllene, Germacrene D y Erucic acid. El Caryophyllene y Erucic acid, los cuales aparecieron en el día 21 de maduración. Aún no se tiene claro el uso de estos compuestos por lo que se plantea el estudio de las características de cada uno para incorporarlos a un nuevo producto o como sustituto de otro ya existente (Cano *et al.*, 2007).



### 3.1.3.2. Fertilizante orgánico

De acuerdo a Cano *et al.* (2007), los componentes encontrados en la cáscara de aguacate podrían tener un uso en un fertilizante orgánico, con la finalidad de reducir el uso de compuestos químicos que afecten al alimento cosechado.

### 3.1.4. Hojas

#### 3.1.4.1. Medicamentos

Las hojas de aguacate en conjunto con otras plantas medicinales son utilizadas como tónico capilar para la cura de la alopecia.

El proceso patentado por Guzmán (1997), consiste en el desprendimiento de sus proteínas, vitaminas y sales minerales mediante el calentamiento de las hojas en agua semidura que contiene calcio y magnesio, seguido de una filtración, el uso de benzoato de sodio como conservador y finalmente su envasado.

#### 3.1.4.2. Extractos

El aguacate comprende lípidos particulares de tipo furánico, cuyo principal componente es un furano linoleico (Figura 61).

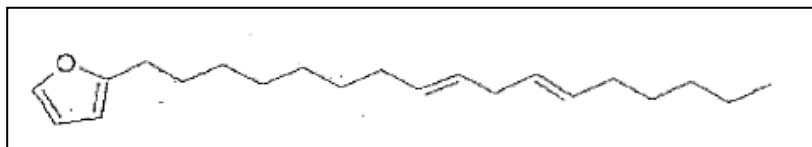


Figura 61. Furano linoleico

De acuerdo a la invención de Piccirilli y Legrand (2005), los lípidos furánicos del aguacate son los componentes que responden a la siguiente fórmula:

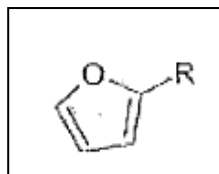


Figura 62. Lípido furánico

en donde R es una cadena lineal hidrocarbonada  $C_{11}$ - $C_{19}$ , preferentemente  $C_{23}$ - $C_{17}$ , saturada o que comprende una o varias instauraciones etilénicas o acetilénicas.

Existe un interés terapéutico de los lípidos fáunicos de aguacate por su acción benéfica y curativa sobre el tejido conjuntivo y patologías inflamatorias como artrosis, existiendo métodos caros por lo que se ha planteado una vía alternativa para su obtención. A partir de las hojas de aguacate de diversas variedades, se puede obtener un



extracto rico en lípidos furánicos, las etapas para extraerlo consisten en la extracción líquido-sólido, evaporación al vacío y un tratamiento térmico, estas etapas pueden realizarse en orden inverso (Figura 63).

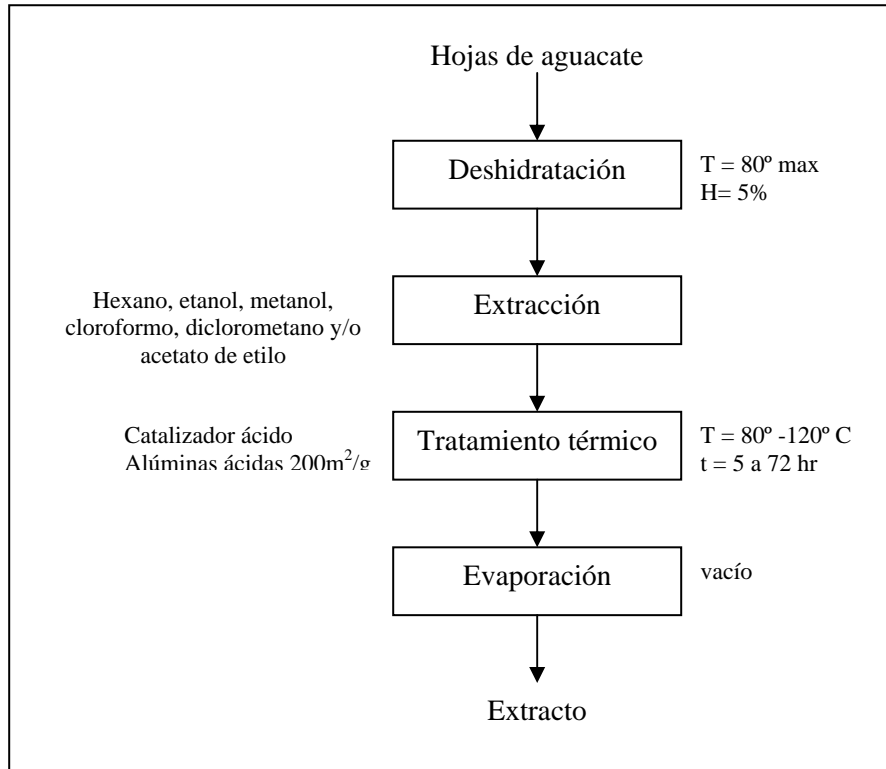


Figura 63. Diagrama de proceso para la obtención de lípidos furánicos de la hoja de aguacate. Fuente: Piccirilli y Legrand (2005)

Debido a que en Norteamérica los problemas cardiovasculares son una causa importante de enfermedad y muerte, se realizaron investigaciones acerca de los componentes de las hojas del aguacate, en específico de la variedad *drymifolia* que es el aguacate nativo de México, los cuales están destinados para disminuir los niveles de colesterol.

El proceso en general consiste en la deshidratación de la hojas para una posterior molienda y así constituyen un té o un extracto que sirva de materia prima para suplementos alimenticios que disminuye los niveles de colesterol (Figura 64).

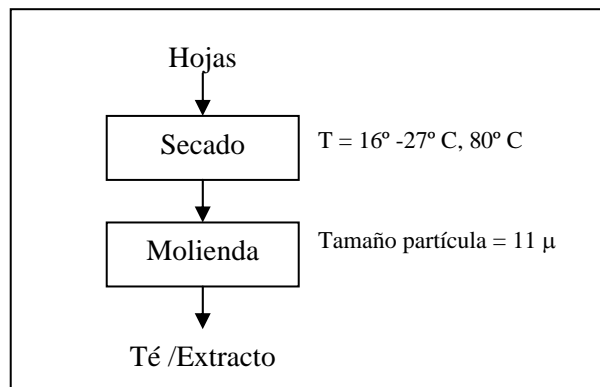


Figura 64. Diagrama de proceso para té o extracto de hojas de aguacate. FUENTE: Brovelli *et al.* (2005)





### 3.2. Tecnologías emergentes

#### 3.2.1. Deshidratación

##### 3.2.1.1. Osmótica

La deshidratación osmótica en aguacate, se ha probado para presentar un producto atractivo disminuyendo su actividad de agua y de esta forma inhibiendo el desarrollo microbiano y reacciones de deterioro, sin embargo aún no existe alguna patente de un producto de aguacate deshidratado osmóticamente.

En términos generales, la deshidratación osmótica consiste en sumergir trozos de alimento en una solución hipertónica, originándose dos flujos principales: una salida de agua desde el alimento hacia la solución y una entrada de solutos desde la solución hacia el alimento. Ambos flujos se ven afectados por factores tales como la temperatura de trabajo, la concentración de la solución, el tipo de soluto usado y las características propias del alimento. La idea es disminuir la actividad de agua eliminando agua e ingresando solutos al alimento, de tal forma que se reduzca el agua disponible, necesaria para el desarrollo de funciones metabólicas y el crecimiento de microorganismos.

El proceso consiste en sumergir los trozos de aguacate en soluciones hipertónicas y el producto ya sea pulpa o trozos es envasado al vacío (Figura 65) (Domínguez, 2007; Schwartz *et al.*, 2007).

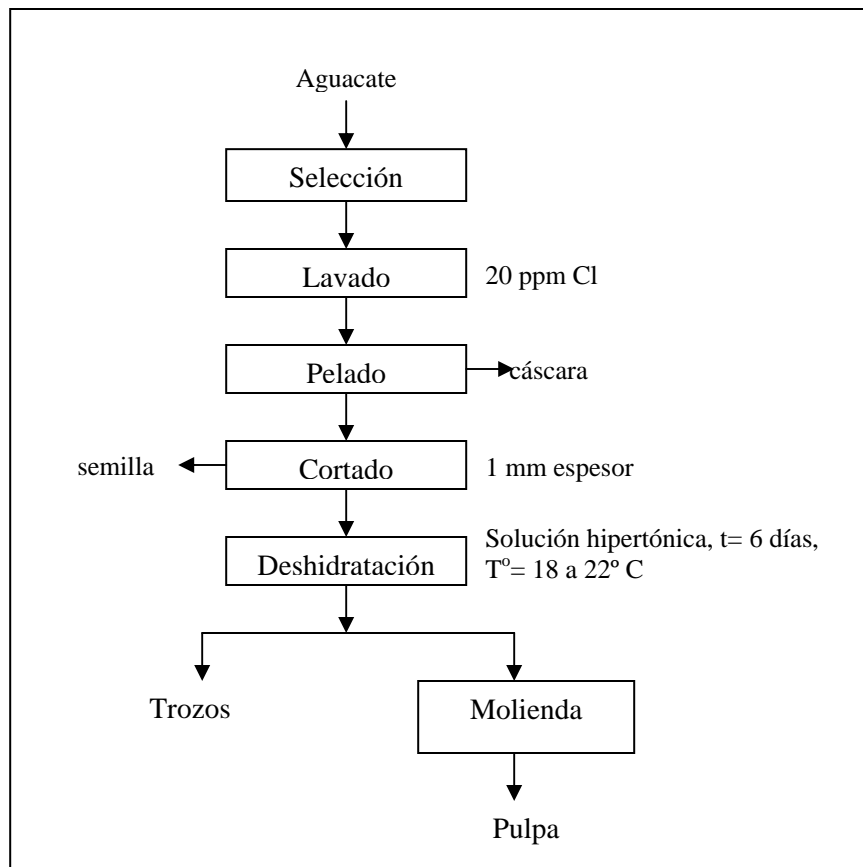


Figura 65. Diagrama de proceso para trozos y pulpa de aguacate obtenidos por secado osmótico. Fuente: Schwartz *et al.* (2007)



El aguacate es una fruta cuya pulpa se altera con facilidad en cuanto es expuesta al oxígeno de aire, sin embargo, si se elimina una fracción considerable del agua que contiene, su estabilidad mejora. La deshidratación osmótica es un proceso en el cual el agua sale sin cambio de fase, además al congelar trozos de aguacate, se produce una reducción del calor latente y en consecuencia, menor demanda energética en el proceso, aumentando la microcristalización, mejorando la textura y sabor de la fruta descongelada, con menor pérdida por goteo, reducción del peso y del volumen de la fruta congelada (aproximadamente 50%) para almacenar y transportar. La eliminación previa del agua por osmosis, aumenta la microcristalización mejorando la textura y sabor del aguacate descongelado.

El proceso consiste en eliminar el 40% de agua de los aguacates por deshidratación osmótica sumergiéndolos en una solución de maltodextrina al 50% y NaCl al 10% durante seis horas, para posteriormente ser triturados para la obtención de una pulpa. Después de un almacenamiento de 80 días las condiciones de la pulpa de aguacate osmodeshidratada son las siguientes (Tabla 22):

**Tabla 22. Condiciones de pulpa osmodeshidratada después de su almacenamiento**

Condición	Valores
Humedad	58.8 a 61.6 g/ 100 g de pulpa
Aw	0.91 a 0.73
Sólidos solubles	20° Bx
PH	4.4
Color	No se altera

Fuente: Schwartz *et al.* (2003)

### 3.2.1.2. Atómica

Con el objeto de disponer de un producto derivado de la palta, de menor volumen y peso que el fresco, apilable, que no se oscurezca durante el almacenamiento ni por simple exposición al aire, se ensayó el secado por atomización de la pulpa o puré de aguacate.

El secado por atomización permite emplear altas temperaturas por un corto tiempo lo cual resulta útil para secar productos termolábiles, como es el caso de la pulpa de aguacate la cual es evidentemente sensible al calor, por lo que el uso de ésta tecnología puede permitir obtener un producto de calidad y comercializable (Domínguez, 2007; Schwartz M. *et al.*, 2007).

El proceso se caracteriza por la pulverización de millones de micro gotas individuales en una cámara por la que circula una corriente controlada de aire caliente. La vaporización rápida del agua del producto, secando suavemente sin choque térmico, lo transforma en polvo; termina el proceso con la colecta del mismo. Este proceso permite reducir el peso, volumen y la actividad de agua de un fluido alimenticio con sólidos disueltos.



El proceso consiste en el lavado del fruto, pelado y eliminación de la semilla y se sumergió en una solución de ácido cítrico. La pulpa obtenida es adicionada con solución de preservantes (ácido cítrico, ácido ascórbico), antioxidante (TBHQ) y coadyuvante de secado (maltodextrina). Para la transformación en polvo se utiliza un atomizador, en el cual la temperatura del aire de salida es  $80^{\circ}\text{C}$  y con un flujo de alimentación de  $8\text{-}10\text{ kg hr}^{-1}$ . El rendimiento en este proceso según algunos estudios es del 15% de producto en polvo respecto de la fruta entera y 30% respecto de la pulpa. El polvo se caracteriza por su color verde típico y buena reconstitución con agua. Este producto puede almacenarse en bolsas de polietileno en condiciones ambientales hasta por dos meses conservando su color y su capacidad de reconstitución con agua (Figura 66) Domínguez, 2007; Schwartz M. *et al.*, 2007).

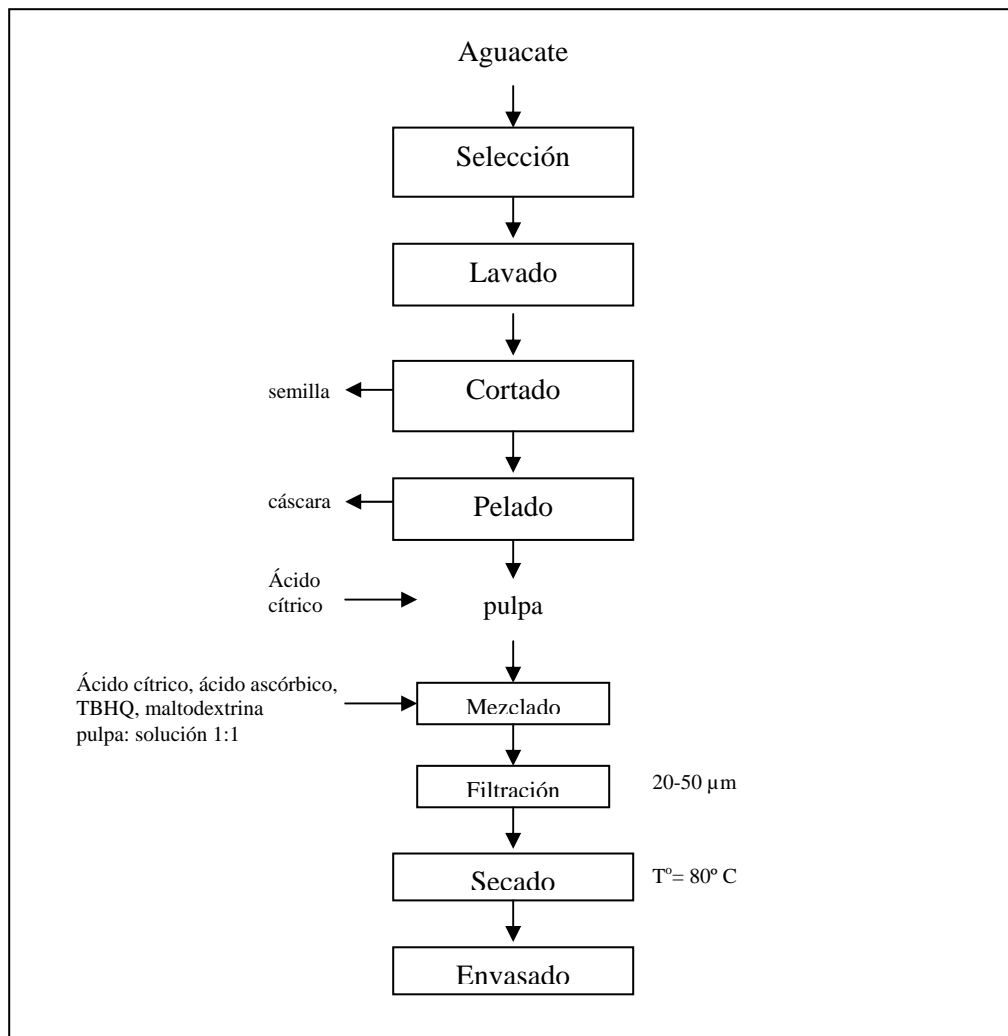


Figura 66. Diagrama de proceso de secado por atomización de pulpa de aguacate. Fuente: Schwartz M. *et al.* (2007)

### 3.2.1.3. Microondas

Durante el tratamiento con energía de microondas se conserva el color natural de las frutas y vegetales, así como los nutrientes así como la vitamina C, además en comparación con otros métodos térmicos su equipo ocupa menor espacio, se han realizado estudio para deshidratar pulpa de aguacate con la finalidad de conocer los



rendimientos en una etapa posterior correspondiente a la extracción de aceite (Domínguez, 2007; Jiménez *et al.* 2005).

### 3.2.2. Extracción de aceite

#### 3.2.2.1. Enzimática

El proceso convencional para obtener aceites vegetales es realizado por el método de extracción sólido-líquido, utilizando hexano como solvente. En ciertos casos, la etapa de extracción con solvente es precedida por el prensado de las semillas en una prensa hidráulica. La extracción enzimática de aceite en conjunto del prensado en frío constituye el desarrollo de una tecnología limpia que conserva las características del aceite y además reduce el impacto ambiental por el uso de altas temperaturas y solventes. El proceso se muestra en la Figura 67:

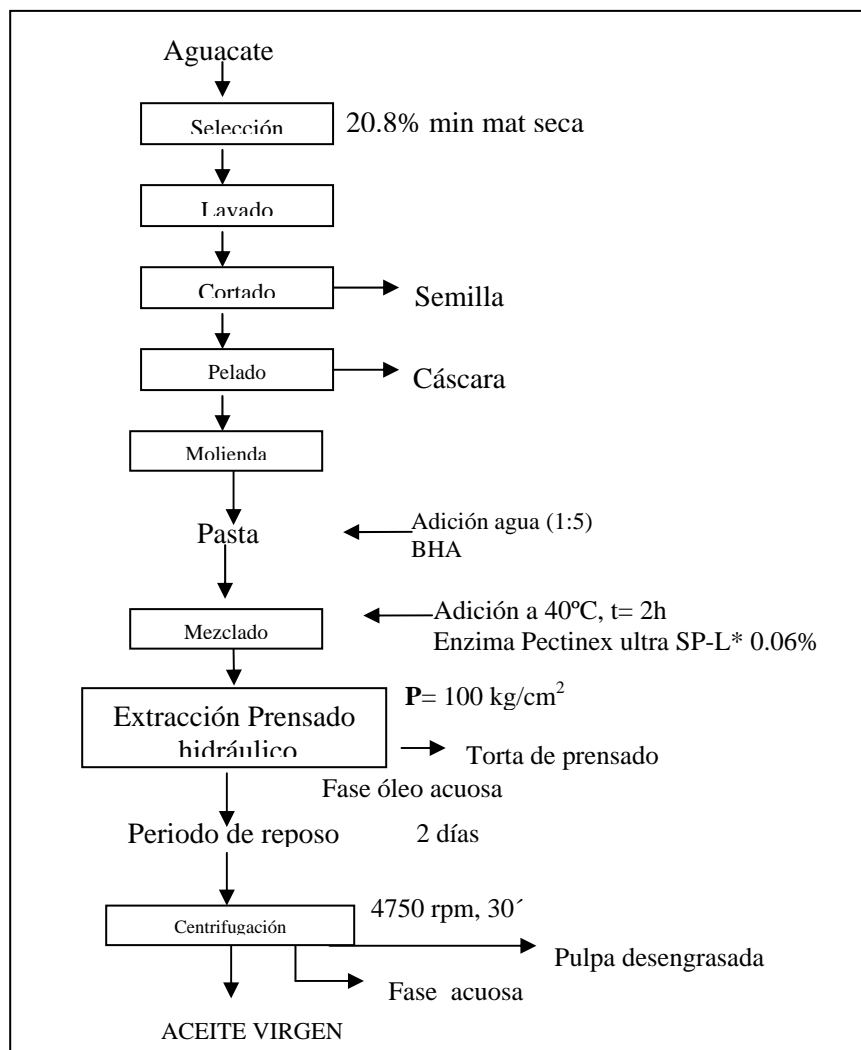


Figura 67. Diagrama de proceso para extracción enzimática de aceite de aguacate. Fuente: Costa (2001)

\*PECTINEX es una preparación purificada, producida por una cepa de *Aspergillus niger*. El producto contiene principalmente pectin-transeliminasa, poligalacturonasa, pectinesterasa y hemicelulasas, siendo capaz de romper sustancias pécicas vegetales.



### 3.2.2.2. Fluidos supercríticos

La extracción con fluidos supercríticos es una técnica de separación de sustancias disueltas o incluidas dentro de una matriz, basada fundamentalmente en la capacidad que tienen determinados fluidos en estado supercrítico (FSC) de modificar su poder disolvente. El poder disolvente de los FSC puede ser elevado, dependiendo de las condiciones de presión y temperatura aplicadas que permiten la disolución selectiva de sustancias determinadas en el FSC. Las sustancias seleccionadas se separan fácilmente del fluido supercrítico. La extracción se realiza sin cambios de fase, simplemente variando las condiciones de presión y/o temperatura de los FSC (Laboratorio de química, 2007).

Los fluidos supercríticos son líquidos o gases en condiciones ambientales, llevados a unas condiciones operativas de presión elevada y temperatura moderada, por encima de su punto crítico. La propiedad más importante que presentan es su elevado poder disolvente en estado supercrítico (Figura 68).

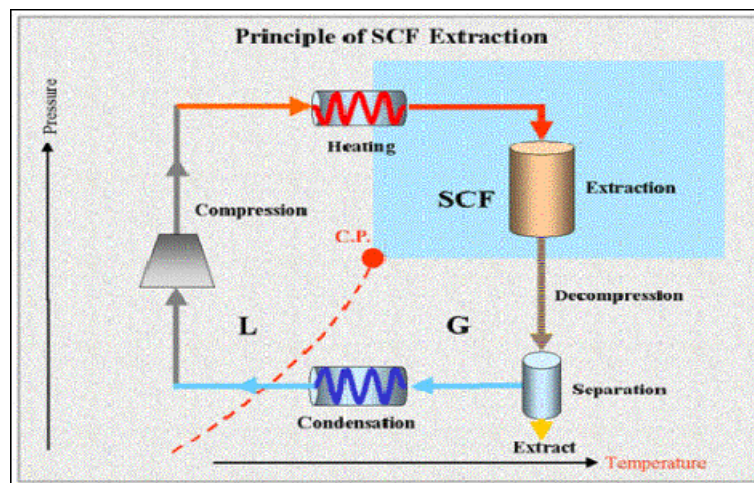


Figura 68. Principios de la extracción supercrítica . Fuente: Laboratorio de química (2007)

De acuerdo a Botha (2004), mediante la extracción con dióxido de carbono supercrítico, se puede obtener un aceite de aguacate de alta calidad cuyo proceso, por sus condiciones de operación tanto de presión como temperatura, constituye una alternativa por la reducción de costos al ser comparado con otros procesos (Figura 69).

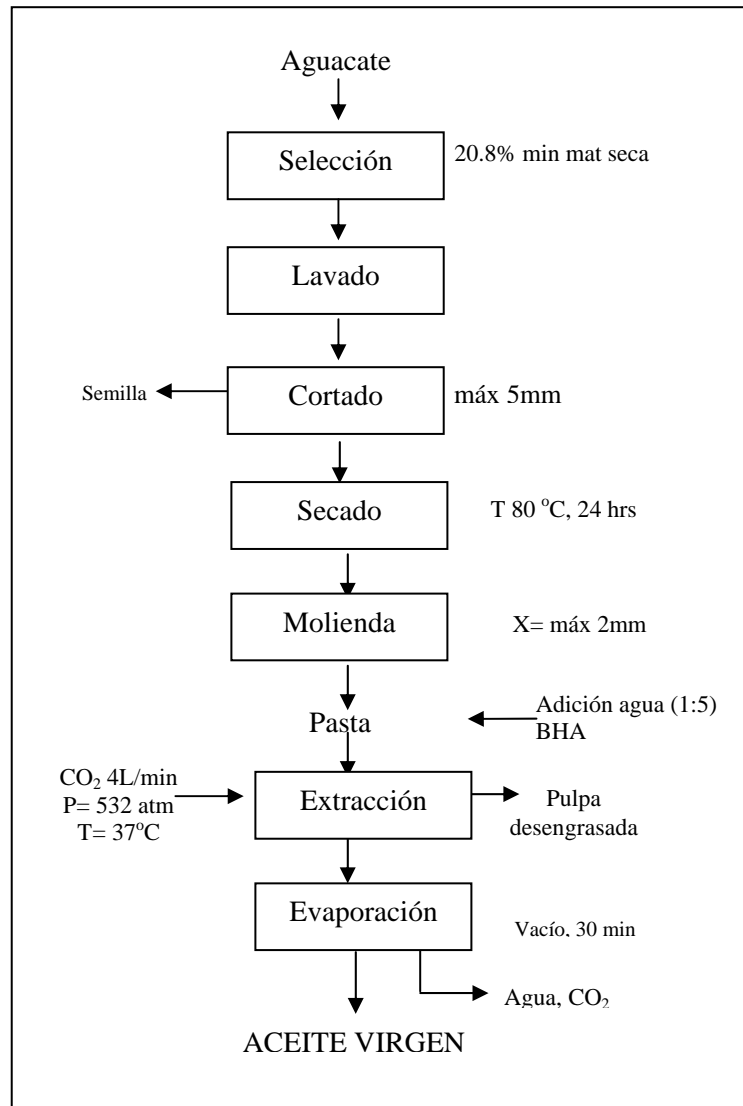


Figura 69. Diagrama de proceso para extracción de aceite de aguacate con CO<sub>2</sub>. Fuente: Botha (2004); Botha y Mc Crindle (2003)

### 3.2.2.3. Microondas

Considerando que la comercialización y exportación del aguacate se ha incrementado en el mundo y que este fruto tiene un alto potencial como alimento funcional por el efecto benéfico en la disminución de los niveles de colesterol y un aporte importante de ingredientes antioxidantes, se han realizado estudios de tecnologías emergentes como es la aplicación de microondas para la extracción de un aceite de alta calidad, similar al extra virgen de oliva. Las microondas son energía electromagnética de alta frecuencia que al penetrar en el alimento provocan fricción entre las moléculas produciendo calor. Se ha comprobado que el deterioro del aceite es mayor cuando se realiza una extracción con disolventes que por la exposición a las microondas (Ortiz *et al.*, 2006).



Las microondas se encuentran entre la radiación infrarroja y las ondas de radio, su principal ventaja es la rapidez de calentamiento. Éstas penetran a los alimentos provocando que las moléculas polares como el agua y proteínas tiendan a alinearse en el campo electromagnético producido. La frecuencia utilizada en alimentos es de 2450 MHz y 915 MHz., al oscilar a estas frecuencias se genera la fricción intermolecular que provoca el calentamiento transmitiéndose por conducción en los sólidos y por convección en líquidos uniformando la temperatura.

Debido a las ventajas que presentan los tratamientos con microondas, Jiménez *et al.* (2001), realizaron un estudio para conocer las propiedades de un aceite obtenido por pulpa tratada con este método térmico obteniendo un mayor rendimiento de aceite sin daño químico en el mismo comprobado con el índice de peróxido.

Pahua *et al.* (2005), realizaron estudios de tecnologías emergentes como es la aplicación de microondas para la extracción de un aceite de alta calidad, similar al extra virgen de oliva. Las microondas son energía electromagnética de alta frecuencia que al penetrar en el alimento provocan fricción entre las moléculas produciendo calor. Se ha comprobado que el deterioro del aceite es mayor cuando se realiza una extracción con disolventes que por la exposición a las microondas (Pahua *et al.*, 2007).

### 3.2.3. Tratamientos térmicos

#### 3.2.3.1 Microondas

El escaldado es una operación previa al procesamiento, que se realiza a frutas y hortalizas y tiene como principal objetivo llevar a cabo la inactivación de enzimas, eliminación de aire ocluido, fijación de color y reblandecimiento del tejido. Una alternativa al escaldado mediante agua caliente es el efectuado con microondas. La energía que proporciona el microondas origina la fricción de las moléculas debido a la rápida oscilación en el campo magnético y por consiguiente el calentamiento de las mismas. Para su aplicación en alimentos, las frecuencias utilizadas comúnmente son las de 2450 y de 915 MHz. Entre sus ventajas están la rapidez y uniformidad en el tratamiento sin provocar pérdidas de los componentes nutricionales.

El color de los alimentos se debe a diferentes compuestos, principalmente orgánicos, o a pigmentos naturales o colorantes sintéticos añadidos. Cuando son sometidos a tratamientos térmicos, los alimentos generan tonalidades que van desde un ligero amarillo hasta un intenso café. En otras ocasiones, los pigmentos que contienen se alteran y cambian de color. La mayoría de las frutas y vegetales deben su color a sus correspondientes pigmentos, que son sustancias con una función biológica muy importante en el tejido. Existe una gran cantidad de pigmentos relacionados con las frutas y vegetales, en el caso del aguacate las clorofilas son las mas notables (Badui, 1999).

El escaldado es muy utilizado en frutos para controlar la actividad de algunas enzimas como la polifenoloxidasas, en el aguacate se ha utilizado el escaldado con energía de microondas debido a que este tipo de tratamiento favorece el incremento del color y lo mantiene estable así como disminuye la actividad de la polifenoloxidasas asegurando que el color no se afecta por el oscurecimiento enzimático (Badui, 1999; Jiménez, 2004).



### 3.2.3.2. Tratamiento alcalino

Otro tratamiento térmico registrado para la conservación de la pulpa de aguacate consiste en un manejo de la temperatura donde ésta es la suficiente para desnaturalizar las enzimas que degradan al fruto mientras éste se encuentra almacenado en un ambiente con pH mayor a 8. De igual forma se explica un método de procesamiento de guacamole el cual consiste en el pelado y calentamiento de la pulpa bajo condiciones alcalinas de pH mayor a 8 con la finalidad de reducir el desarrollo de sabores desagradables y obscurecimiento enzimático y con la adición de sustancias aromáticas para mejorar el sabor del producto final.

El método de procesamiento de guacamole consisten el pelado y calentamiento bajo condiciones alcalinas, la molienda y la adición de compuestos aromáticos (Figura 70).

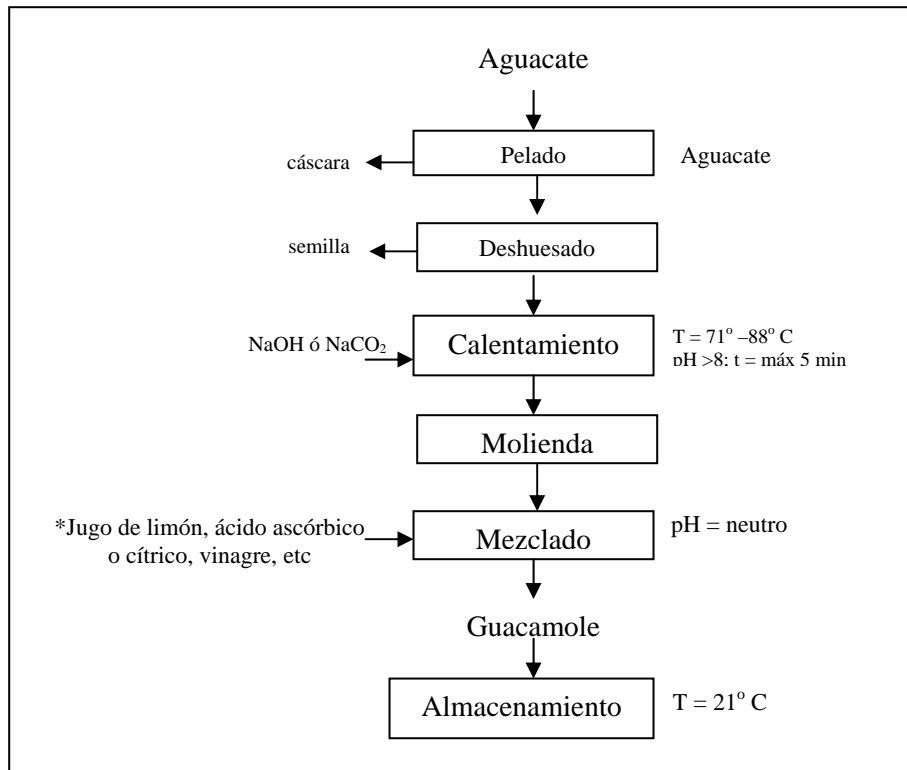


Figura 70. Diagrama de proceso de guacamole mediante tratamiento térmico y alcalino de la pulpa (\*opcional).

Fuente: Griebel *et al.* (2004)

### 3.3. Desarrollo de nuevas tecnologías

#### 3.3.1. Control biológico

Debido a que la antracnosis es una de las enfermedades que más ataca los cultivos de aguacate se han probado gran cantidad de productos químicos para su control, sin embargo, por su efecto contaminante que se prolonga hasta el consumidor, se ha planteado el control biológico de esta enfermedad por medio de aspersiones foliares de yodo, cobre y extractos de ajo y cebolla. A pesar que esta alternativa de control es atractiva por su búsqueda





de reducir la utilización de agroquímicos que dañen al consumidor y al ambiente, los resultados se encuentran por debajo de lo logrado con el control químico, pero forma parte del manejo orgánico del cultivo de aguacate (Reyes, 1996).

Otra enfermedad del aguacate es la podredumbre blanca, causada por *Rosellinia necatrix* Prilleux (anamorfo *Dematophora necatrix* Hartig), para el control del hongo se han propuesto métodos de control biológico, mediante la utilización de aislados de *Trichoderma* spp., como agentes de biocontrol. La investigación realizada por LeLay *et al.* (2007), pone como manifiesto la necesidad de estudios previos de compatibilidad de aislados de *Trichoderma* que puedan ser utilizados en combinaciones como agentes de control biológico, puesto que algunos de ellos ejercen poder inhibitorio sobre otros, sobre todo debido a liberación de compuestos no volátiles.

### 3.3.2. Aparatos para uso integral

Debido a la industrialización del aguacate, Brown Int. Corp (1988), patentó algunos aparatos para quitar la cáscara y semilla del mismo. Un aparato consiste en una copa dividida donde se tienen cuchillas opuestas una hacia la otra de tal forma que se corta la cáscara del aguacate. Posteriormente, se presentó un aparato que funciona bajo el mismo principio, éste comprende medios de cuchilla para cortar a través de la cáscara y la pulpa del aguacate y para hacer contacto con y sujetar el hueso de aguacate; medios de mandíbula para acoplarse con la cáscara de aguacate a fin de retirarla de la pulpa de aguacate; y medios desprendedores para separar porciones de pulpa del aguacate con respecto al hueso, mientras el hueso está acoplado y sostenido por los medios de cuchilla.

Este es un método caracterizado porque comprende los pasos de: operar medios de cuchilla para cortar a través de la cáscara y la pulpa de un aguacate y para hacer contacto con el hueso del aguacate y sujetarlo; acoplar medios de mandíbulas con porciones de la cáscara del aguacate, y separar las porciones de cáscara de la pulpa del aguacate; y separar las porciones de pulpa del aguacate del hueso, forzando las porciones de pulpa del aguacate a alejarse del hueso, mientras el hueso está en contacto con los medios de cuchilla y es sujetado por ellos.

De igual forma Bushman (1993), patentó un método para eliminar las cáscaras y los huesos de aguacate, basado en los siguientes pasos: operar medios de cuchilla para cortar a través de la cáscara y la pulpa de un aguacate y para hacer contacto con el hueso del aguacate y sujetarlo; acoplar medios de mandíbulas con porciones de la cáscara del aguacate, y separar las porciones de cáscara de la pulpa del aguacate; y separar las porciones de pulpa del aguacate del hueso, forzando las porciones de pulpa del aguacate a alejarse del hueso, mientras el hueso está en contacto con los medios de cuchilla y es sujetado por ellos (Bushman, 1993).

Horton (1985), inventó un método para mejorar el procesamiento del aguacate, quitándoles la cáscara. El proceso consiste en la inmersión del aguacate en un aceite triglicéridico a alta temperatura que va de 135 a 204° C, desarrollando un gradiente de temperatura a través de la cáscara del aguacate provocando un límite de vapor



continuo entre la cáscara y la pulpa del aguacate facilitando el pelado sin dañar la pulpa por calentamiento. Con este método se evita el desarrollo de sabores extraños (Horton, 1985).

### 3.4 Tecnologías para la mejora genética

#### 3.4.1. Contenido en ácido ascórbico

Para la mejora de las plantas se tiene una patente acerca de métodos para producir plantas con un contenido de ácido ascórbico alterado además se tienen los métodos de la selección de planta, métodos de la identificación del herbicida y anticuerpos.

La patente proporciona los polinucleótidos que codifican las fosfatasas de L- galactosa-1-fosfato del aguacate. El ascorbato es el antioxidante soluble mas abundante en las plantas y un nutriente esencial en la alimentación humana y de algunos animales, contribuye significativamente en la eliminación de radicales libres dañinos en la dieta incluso se considera anticancerígenos y protector de enfermedades cardiovasculares.

En una construcción genética se tiene la interacción de moléculas, en este caso de polinucleótidos, y ésta debe contener los elementos necesarios que permitan transcribirla información del polinucleótido que es insertado. Una vez dentro de la célula huésped la construcción genética puede integrarse en el DNA cromosómico del anfitrión (Laing, 2006).

#### 3.4.2. Embriogénesis somática

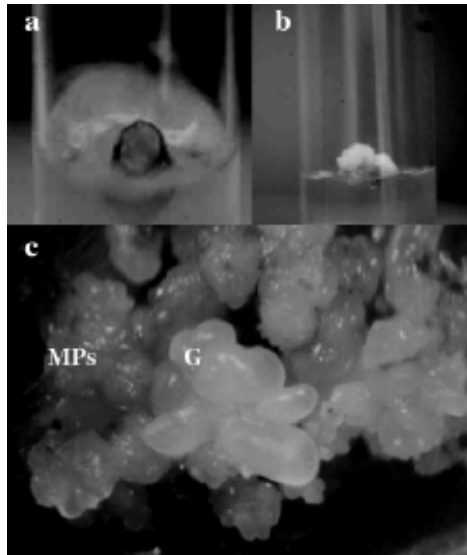
El aguacate presenta problemas por enfermedades como: antracnosis (*Colletotrichum gloeosporioides*), roña (*Sphaceloma persea*) y tristeza (*Phytophthora cinnamoni*), en casos extremos estas provocan la muerte del árbol o bien reducen la producción y calidad de la fruta hasta en un 14%, causando una baja producción. Este problema puede ser solucionado por la biotecnología mediante la transformación con genes resistentes, la selección clonal y mutagénesis; no obstante para utilizar estos mecanismos de mejoramiento genético *in vitro* se requiere el tener previamente el sistema de regeneración de una planta completa a través de embriogénesis somática u organogénesis adventicia.

De acuerdo a la investigación de Vidales *et al.* (2003), se demuestra que a partir de tejido nucelar de aguacate cv. Hass se puede establecer el sistema de embriogénesis somática, se evita la necrosis con el uso de ácido ascórbico y se genera callo embriogénico con las auxinas (2,4-D, picloram y AIB), al eliminar éstas fue posible la multiplicación y la germinación de embriones somáticos, los cuales previamente deben cultivarse en medio de cultivo endurecido con agar y subcultivarlos en dos fases, la primera en medio sin reguladores y la segunda en presencia de la citocinina.

El cultivo *in vitro* de tejido nucelar de aguacate y la subsecuente inducción de la embriogénesis somática ha sido desarrollada. El procedimiento consiste en colocar segmentos de tejido nucelar sobre un medio de cultivo con sales minerales, auxinas (picloram, AIB y 2,4-D) y suplementado con caseína hidrolizada. Además, se probó el ácido ascórbico y L-cisteína para reducir necrosis en obscuridad y con baja intensidad de luz, teniendo resultados



de disminución de necrosis en un 100% con la inmersión del tejido nucelar en ácido ascórbico (400 mg/l) antes del cultivo *in vitro*. Un 20% de callo embriogénico desarrollo sobre medio de inducción con 2,4-D (1 mg/l) después de 50 días a 25°C en oscuridad. Sin embargo, los callos embriogénicos desarrollaron mejor en un medio adicionado con picloram (4 mg/l) y AIB (0.4 mg/l). La multiplicación del callo embriogénico fue obtenida en baja intensidad de luz y cultivado sobre medio sin reguladores por 4 semanas; los embriones maduraron sobre un medio endurecido con agar-agar 20 g/l y germinaron en un 10% bajo cultivo de dos fases: primero en un medio bajo en nitratos y sin reguladores, y posteriormente en medio MS con 0.3 mg/l de BA (Figura 71).



**Figura 71. Inducción de callo embriogénico de aguacate (*Persea americana* Mill. cv. Hass).**

En la figura 71 se muestra: a) tejido nucelar sin necrosis; b) inducción de callos en tejido nucelar; c) masas proembriogénicas (MPs) y embriones somáticos en fase globular (G). Fuente: Vidales *et al.* (2003)

### 3.4.3. Agricultura

En cuanto avances para la agricultura se tiene un método para la micropropagación de aguacate adulto. El método comprende la multiplicación del material vegetal adulto procedente de árboles de aguacate en un primer medio de multiplicación líquido, y posteriormente en un segundo medio de multiplicación de doble fase, y el enraizamiento del material vegetal procedente de la multiplicación en el medio de doble fase en un primer medio de enraizamiento líquido y posteriormente en un segundo medio de enraizamiento sólido (Berceló y Pliego, 1999).

Actualmente en casi todos los cultivos agrícolas se han implementado estrategias alternativas para su desarrollo, las cuales han sido principalmente de tipo biológico. La utilización de los hongos en la fruticultura constituye una alternativa de carácter ecológico.

La simbiosis micorrízica es una asociación natural eficiente en la nutrición de las plantas y en aguacate ha sido reportada su presencia en plantaciones, así como la multicepa *Glomus* spp. Zac-19 y la vermicomposta promueven el crecimiento de plantas de aguacate, por lo que constituyen una propuesta implementación de tecnología en el proceso práctico de vivero (Reyes, 1996).



Se tiene un método de reproducción y propagación de rizomas de aguacate por medio de una semilla de vivero de la cual se obtiene una plántula en la que se injerta una yema de un clon seleccionada, con las características deseadas entre las cuales se encuentra la inmunidad a ciertas enfermedades (Brokaw, 1982).



## VIII. Discusión

El aguacate, *Persea americana Mill*, es originario del centro y este de México así como de Guatemala, su uso y descripción quedó documentada en crónicas a la llegada de los españoles promoviendo su consumo en otros países de América y posteriormente su distribución a nivel mundial. Las principales razas de aguacate son tres: la mexicana, la guatemalteca y la antillana, sin embargo, mediante técnicas de propagación como el injerto, se tienen otras variedades con la Hass, Fuerte, Bacon, Rincón, Zutano y criollos de la raza mexicana.

México es el principal productor de aguacate Hass a nivel mundial siendo Michoacán la principal zona productora y exportadora del país teniendo asociaciones agrícolas, empacadoras, agroindustrias productoras de pasta y guacamole congelado y aceite.

Las principales exportaciones de aguacate son destinadas a Estados Unidos seguido de Japón como mercado de gran importancia, además de que actualmente existe una amplia tendencia de los mercados europeos en aumentar su consumo.

México tiene la ventaja de presentar buenas condiciones climáticas que favorecen el cultivo del aguacate, siendo la principal razón que ha favorecido el aumento de la producción del fruto así como una buena planeación en cuanto a técnicas de reforestación teniendo mayores rendimientos en tiempos inferiores de vida, además a pesar de que México cuenta con gran variedad de aguacate, ha definido la variedad Hass como la principal para la exportación, debido a sus características físicas como es la cáscara resistente para el transporte además de tener mejor rendimiento en precosecha así como una menor susceptibilidad al ataque de plagas, concentrando sus logros y tecnología para la mejora de ésta.

De acuerdo con el Consumo Nacional Aparente (CNA), se puede decir que éste ha disminuido en los últimos años debido a la gran cantidad de aguacate destinado a la exportación, lo cual hace notar, que el aguacate es un producto ampliamente aceptado a nivel mundial y por esta razón es importante pensar en vías alternas de su comercialización para fortalecer la economía de México.

Para el control de insectos se utilizan las bajas temperaturas ya que el aguacate no tolera tratamientos a altas temperaturas. Una de las principales plagas que presenta el aguacate es el barrenador del hueso, por esta razón se realizan inspecciones para evitar exportar fruto contaminado, siendo sometido a tratamientos cuarentenarios. Los daños por trips son otro factor común en el aguacate, dañando hojas y piel, causando heridas que reducen su valor en el mercado y además pueden propiciar la entrada de microorganismos patógenos. En este sentido se debe tener especial cuidado en el tratamiento contra trips y buscar nuevas alternativas orgánicas que dañen lo menos posible al fruto y al consumidor en caso de ser para uso directo.



Los tratamientos cuarentenarios más utilizados son a bajas temperaturas por un periodo prolongado de tiempo, sin embargo, estos pueden causar daños por frío reduciendo la calidad del fruto. Es por esta razón que se están desarrollando nuevos métodos que no requieran la aplicación de frío y sirvan como alternativa para eliminar plagas en el fruto.

Se ha considerado los tratamientos con radiación ionizante o gamma en dosis bajas para esterilizar estas plagas, y actualmente se sabe que el aguacate resiste dosis de hasta 150 Gray a una temperatura de 18° C, este método puede reducir los daños por frío, sin embargo, los aguacates sometidos a este tratamiento deben ser frutos de alta calidad para mantenerla en un nivel aceptable después del tratamiento.

En cuanto a enfermedades la más común es la antracnosis causada por *Colletotrichum gloesporoides* que ataca al fruto en heridas dañándolo antes de su cosecha y la fruta presenta pudrición con manchas negras suavizando la pulpa causando pardeamiento y rancidez en casos severos. Esta enfermedad es la más importante causada por hongos y generalmente el fruto se contamina desde el cultivo, pero no solo afecta la cosecha, ésta puede causar daños durante el transporte, el almacenamiento y la comercialización. Para reducir este daño se debe tener cuidado en el cultivo del aguacate realizando muestreos periódicos para evitar en lo posible la propagación de la enfermedad y de estar presente establecer medidas correctivas que eviten la proliferación de la enfermedad en el resto de los árboles y en otras etapas como almacenamiento y transporte se debe tener un control de la humedad ya que este hongo se ve favorecido por ésta.

Otra enfermedad importante es la pudrición de la raíz del pedúnculo causada por *Botryodiplodia theobromae* y las medidas de control consisten en una buena sanidad en la huerta y un manejo cuidadoso para evitar daños físicos que hagan al fruto susceptible al ataque de cualquier hongo.

La deficiencia de nutrientes afecta a la calidad y rendimiento en la producción del aguacate afectando a hojas, piel y fruto en su apariencia física; las principales enfermedades son por carencia de minerales como: nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, azufre, boro, molibdeno, zinc, cobre, hierro y manganeso. Es por esta razón que se debe tener gran importancia en el cuidado del cultivo del aguacate y el tiempo de cosecha del mismo para evitar en lo posible que el fruto sufra de carencias nutritivas y en consecuencia se pueda tener una pérdida económica.

La época de cosecha del aguacate es de vital importancia para la calidad del fruto, ésta debe ser realizada en el momento adecuado para obtener lo mejor de sus propiedades y de esta forma ser destinada a su conservación por un mayor tiempo. El índice de madurez que se utiliza como indicador de cosecha es la materia seca en relación con el contenido de aceite ya que éste aumenta conforme el fruto madura, la cual es 20.8% para el aguacate Hass.

Debido a que el aguacate es un fruto climatérico, su tratamiento postcosecha requiere especial cuidado para evitar cambios en color, aroma, textura, etc, que afecten en la apariencia y calidad del fruto. Los cambios que se



producen durante la maduración son cambios de color, modificación de la permeabilidad de las membranas, cambios en la composición de los carbohidratos, modificaciones en ácidos orgánicos y disminución a la resistencia de enfermedades conduciendo a la putrefacción del fruto, además del ablandamiento del aguacate causado por enzimas hidrolíticas. Los principales factores que se deben de tomar en cuenta son la temperatura de almacenamiento y la humedad relativa siendo de 5 a 13° C y 90 a 95% respectivamente, al humedecer los ambientes de almacenamiento del aguacate, se disminuye la deshidratación del fruto y al mismo tiempo se reducen los desórdenes fisiológicos y problemas patológicos. Además se debe tener en cuenta la respiración del aguacate para su adecuado almacenamiento así como la producción de etileno que en el aguacate se inicia después de la cosecha y de no tener un control adecuado se pueden tener daños físicos como ablandamiento de la pulpa y cambios de color en la piel del fruto esto generalmente ocurre a temperaturas mayores de 20° C. Para evitar cualquier daño en el almacenamiento se debe tener un control adecuado de las temperaturas de almacenamiento así como de los gases utilizados en las atmósferas controladas teniendo como parámetro óptimo del 2 a 5% de O<sub>2</sub> y 3 a 10% de CO<sub>2</sub> a una temperatura de 5 a 7° C, este método de conservación preserva la calidad del fruto y reduce el daño por frío en la piel del mismo.

El daño por frío es el resultado del cambio de fase de los lípidos de la membrana a una baja temperatura afectando la permeabilidad de la misma causando dificultades en la maduración. Con las bajas temperaturas se incrementa la presencia de compuestos fenólicos causantes del pardeamiento del fruto. A pesar de que el daño por frío puede causar daños severos en la calidad del aguacate, no se puede eliminar la refrigeración como práctica de conservación ya que es la mejor opción para retardar los procesos de maduración y senescencia. Para evitar estos daños lo recomendable es no almacenar el fruto por periodos prolongados que superen los 30 a 40 días.

Para evitar los desórdenes fisiológicos, que principalmente se presentan como pardeamiento interno y externo los parámetros a considerar son la cosecha oportuna del fruto además de evitar los daños mecánicos que modifican la estructura de los tejidos haciéndolo vulnerable a cambios, así como todos los factores involucrados en el almacenamiento y conservación del fruto como control de humedad y temperatura.

Además del almacenamiento refrigerado en todas sus variables, se tiene el tratamiento con presión hidrostática para la conservación del fruto con la ventaja de conservar la calidad sensorial y los nutrientes del fruto, este método es de gran utilidad ya que garantiza un alimento seguro en cuanto al contenido microbiológico y con amplia vida útil. Otra ventaja de las altas presiones es la inactivación enzimática, que en el caso del aguacate es de suma importancia para mantener una buena calidad del fruto ya que la presencia de lipoxigenasas, peroxidasas y polifenoloxidasas, principalmente, son las causantes de graves problemas en la calidad sensorial siendo causantes del pardeamiento enzimático.

Sin embargo, a pesar de ser un método de esterilización muy efectivo al igual que ser un método que puede garantizar una inactivación enzimática de la polifenoloxidasa hasta en un 15%, presenta la desventaja de tener



un alto costo en su implementación, considerando que México es el principal productor y exportador de aguacate a nivel mundial, podría considerar la inversión de la compra del equipo para este método y así aumentar su mercado en productos a base de aguacate.

Debido a que el aguacate es un producto de alto valor económico en el país, constantemente se buscan nuevas tecnologías que favorezcan el tiempo de conservación del fruto y al mismo tiempo garanticen la mejor calidad posible. La esterilización por altas presiones es un ejemplo de estos, otro ejemplo es el tratamiento con radiaciones ionizantes que además de ser una alternativa en tratamientos cuarentenarios, ésta puede utilizarse para favorecer la maduración del fruto, quizá este método es poco común ya que en el aguacate se busca retardar la madurez del mismo, sin embargo, podría ser considerada para frutos de temprana cosecha.

En las cámaras de almacenamiento de aguacate es importante tener inhibidores de etileno ya que éste es el causante de reacciones propias de la maduración como el ablandamiento de la pulpa y degradación de los pigmentos. Un inhibidor del etileno es el metilciclopropeno (1-MCP) que se une a los receptores del etileno en la célula impidiendo dichas reacciones. Cualquiera que sea el inhibidor de etileno utilizado, se deben de tomar medidas de control en el ambiente de almacenamiento como la temperatura y la ventilación del mismo.

En cuanto al procesamiento del aguacate actualmente los productos más comunes son: las pulpas frescas o congeladas, el fruto congelado, el aceite tanto para uso cosmético como para uso culinario y el aguacate deshidratado.

Dentro de su procesamiento, debido a la naturaleza del fruto, se han patentado aparatos que facilitan el pelado, cortado y deshuesado del mismo, con la finalidad de facilitar su transformación. Además en la mayoría de los procesos del aguacate este debe ser sometido a pretratamientos que disminuyan su carga microbiana y sobre todo inactiven enzimas que deterioren la calidad del producto final.

En general el puré de aguacate es el de mayor producción y en gran medida su comercialización se realiza en Estados Unidos, el principal método de obtención es por medio de presión hidrostática ya que como anteriormente se había mencionado, ésta tecnología permite una excelente conservación del producto y resulta otra buena razón para que los procesadores de México decidan invertir en este método.

Debido a la reciente tendencia a consumir productos libres de compuestos químicos, el aguacate orgánico se ha implementado en mercados europeos principalmente. Michoacán siendo el principal productor en México ha iniciado la producción de este aguacate, sin embargo, la comercialización dentro del país no ha sido a gran escala esto es debido a que los precios suelen ser elevados por el alto cuidado que el cultivo de productos orgánicos requiere.

Los métodos de reducción de agua son útiles para la conservación del cualquier producto ya que el agua es el medio donde pueden realizarse diversas reacciones que afectan la calidad de fruto alterándolo a nivel fisiológico, microbiológico, químico etc. Es por eso que tanto la congelación como la deshidratación son buenas opciones





para el procesamiento del aguacate. Actualmente los productos congelados son más conocidos y debido a que es una tecnología ampliamente desarrollada, los costos para el consumidor no suelen ser tan elevados. Por el contrario, la deshidratación suele ser un proceso más costoso, sobre todo porque el aguacate requiere un control estricto en su procesamiento ya que las altas temperaturas dañan su estructura que a su vez disminuyen la calidad de éste, es por eso que los frutos deshidratados deben ser de alta calidad. Debido al daño que puede sufrir el aguacate por las temperaturas elevadas, se han desarrollado otros métodos de deshidratación como la atomización, la deshidratación por ósmosis y la liofilización, sin embargo, éstos métodos aún resultan muy costosos para algunos productores y en consecuencia es poco probable encontrar un producto de este tipo en el mercado a presentar altas ventajas para su conservación y almacenamiento, es por esto que generalmente es destinado para productos de exportación o consumidores a granel como hoteles y restaurantes.

La tecnología de extracción de aceite ha sido modificada desde el uso de solventes hasta tecnologías emergentes como el uso de tratamientos con microondas. Para el aceite de aguacate el proceso más común es el prensado en frío el cual es un método limpio que conserva en gran medida todos los nutrientes y propiedades del aguacate. En el pasado este aceite únicamente era empleado para uso cosmético pero en los últimos años se ha utilizado con fines de consumo humano siendo una fuerte competencia para el aceite de oliva ya que presenta propiedades similares y en algunos casos las supera. En México debería existir promoción de este aceite ya que se tendría un producto cien por ciento mexicano con amplios beneficios y de esta forma el precio del aceite disminuiría, ya que actualmente es muy difícil encontrarlo en tiendas comunes, generalmente éste se encuentra en tiendas departamentales con sección gourmet y tiende a ser más caro que cualquier otro aceite siendo que el aguacate es producido en México este aspecto debería ser diferente y esto se puede lograr al aumentar su promoción para que aumente el consumo del mismo.

En los últimos años, diversos investigadores han realizado trabajos para conocer las propiedades del aguacate y la factibilidad de nuevos procesos que aprovechen todas las bondades que éste brinda. En estas investigaciones se muestran desde procesos convencionales con alguna etapa extra o modificada para la mejora de algún proceso tradicional hasta procesos nuevos que incluyen tecnología emergentes con es el uso de microondas. Todas estas han surgido en base a que el aguacate es un alimento altamente nutritivo y muy aceptado por los consumidores de diversas partes del mundo. Además de la pulpa, algunos autores han investigado propiedades de cáscara, semilla y hojas, para de esta forma tener un aprovechamiento integral del fruto, una industria que tenga un mínimo de desperdicios al utilizar el hueso y cáscara de los procesos convencionales como son la extracción de aceite y la obtención de pulpas y productos congelados y deshidratados, es necesaria teniendo México una gran oportunidad de desarrollar nuevos productos a partir de estos desperdicios considerando su alta producción.

En general, en este proyecto se encontró que el aguacate no solo tiene un uso alimentario, en gran medida, tiene un uso farmacéutico, cosmético, e incluso como colorantes y para formular alimentos para consumo animal. Además existe gran diversidad de patentes de todo el mundo, lo cual demuestra el gran interés que otros países tienen por el aguacate. A pesar de que México tiene algunas patentes importantes sobre productos de aguacate, son mínimas en relación a todas las consultadas. Esto quizá se debe a la falta de apoyo y presupuesto, sin



embargo existen muy buenos investigadores en el país que se deben de aprovechar para el desarrollo del mismo apoyándolos en proyectos de importancia y sobre todo tratándose de un fruto tan prometedor como el aguacate. Finalmente con esta tesis se propone el fortalecimiento de tecnologías emergentes para el manejo postcosecha del aguacate y diversos métodos de conservación para el aguacate y sus diversos productos, desde los mínimamente procesados hasta las tecnologías que requieren altos costos de producción. También en base a las diversas patentes investigadas, se pretende que se pueda tener un desarrollo de productos económicamente viables a partir de los desperdicios del aguacate para aprovechar en lo máximo sus diversos compuestos., siendo los aceites los que más uso tiene en diversas ramas de la producción. Los usos de mayor interés son suplementos alimenticios, sustitución de grasas animales, medicamentos, colorantes y cosméticos, los cuales son obtenidos de la pulpa, semilla, cáscara e incluso alguna infusiones medicinales obtenidas de las hojas del aguacate. Para el desarrollo de todas las tecnologías tanto patentadas como en investigación, se requiere la colaboración conjunta de dependencias tanto privadas como gubernamentales así como de lo diversos centros de investigación para así lograr avances y mejoras en el desarrollo tecnológico y económico de la industria del aguacate en el país, y no solo centrarse en la exportación del producto en fresco.



## IX. Conclusiones

Con base a la información presentada en el presente trabajo se concluye lo siguiente:

1.- México es el principal productor de aguacate en el mundo. En los últimos años este fruto ha tenido grandes niveles de aceptación en el consumo en fresco, lo que ha propiciado un gran crecimiento en los niveles de producción y comercialización. La mayor producción en México la tiene el estado de Michoacán en el cual ya existen diversas empacadoras de aguacate destinadas para la exportación y algunas otras industrias procesadoras del aguacate. La gran producción de aguacate permitiría abrir nuevos mercados de productos del fruto reduciendo los costos de los mismos, ya que actualmente son muy pocas las industrias procesadoras de productos de aguacate como deshidratados, congelados y aceite.

2.- El aguacate es un fruto tropical climatérico cuyo origen se encuentra en México y Centroamérica, existen diversas variedades que han sido resultado de la polinización cruzada así como de diversos injertos, sin embargo, la variedad Hass es la que actualmente tiene mayor demanda en el mercado debido tanto a sus propiedades nutritivas como a la resistencia que presenta la cáscara le proporciona durante el transporte, es por eso que México se ha especializado en el cultivo y producción de esta variedad, aunque no es la única variedad que produce. Entre las enfermedades precosecha que presenta el fruto, las principales son causadas por hongos y son la antracnosis y la pudrición del pedúnculo dañando la pulpa y en muchos casos si no es detectado, estos hongos pueden causar severos daños durante el transporte y almacenamiento. Además de las enfermedades el fruto es sensible a bajas temperaturas pudiendo presentar daños por frío, teniendo pardeamiento en la cáscara y pulpa del aguacate así como un aumento de la susceptibilidad al ataque de microorganismos.

3.- En el estado del arte tecnológico del manejo del aguacate, se tiene su producción, procesamiento y conservación. Debido a que es un fruto climatérico es muy sensible a temperaturas y cambios en su entorno, por esta razón, en México las tecnologías más utilizadas son la refrigeración y las atmósferas modificadas y controladas. Incluso ante el uso de tratamientos a altas presiones o radiaciones ionizantes, estos se almacenan en cámaras refrigeradas para garantizar la calidad final del aguacate o de sus productos. El 19% de la producción se destina a procesamiento siendo los principales productos: pulpas congeladas, fruto congelado, guacamole deshidratado y aceite de aguacate. Con estos procesos tanto de congelación como deshidratación e incluso la extracción de aceite, se garantiza la disponibilidad del aguacate en cualquier época del año ya que se logra alargar la vida útil por periodos considerables.



4.- Las oportunidades Tecnológicas para el aprovechamiento de los subproductos de la industria actual del aguacate puede favorecer al crecimiento en México, desde la creación de nuevas industrias y con esto la creación de nuevas fuentes trabajo, hasta ser una alternativa no solo de crecimiento económico sino de mejoras en la salud y alimentación de la población por la creación de alimentos saludables, suplementos o sustitutos de grasas animales que son más dañinas que las vegetales; además de proteger al ambiente al generar un menor porcentaje de desperdicios. La semilla representa un porcentaje de 15 a 16% del fruto, además de la cáscara que son considerados desperdicios industriales. La extracción de aceites es una opción tecnológica viable para el aprovechamiento integral de este producto.

Por otra parte, existe el desarrollo de nuevas tecnologías para la elaboración de productos de aguacate, con la finalidad de mejorar los procesos y la calidad final del producto, aunque no todas están implementadas en la industria, en mayor medida solo han sido elaboradas a nivel planta piloto. La Tecnología para la mejora genética es otra oportunidad tecnológica que mejora la calidad del fruto como el aumento en ácido ascórbico y la creación de genes resistentes a enfermedades como antracnosis y roña que causan grandes pérdidas en la producción del aguacate.

5. De acuerdo a la información tecnológica y científica recopilada en el presente proyecto se concluye que la propuesta tecnológica presentada constituye un Estudio de Inteligencia Tecnológica, en el cual se plasma desde el manejo postcosecha del aguacate hasta la diversidad de procesos de transformación del mismo y las tecnologías existentes para alargar la vida útil del fruto y mantener al máximo las propiedades físicas y nutritivas que constituyen la calidad del producto. Lo anterior resulta útil para conocer la importancia económica de estos productos, mejorando la tecnología de producción, cumpliendo con normas fitosanitarias y de esta forma lograr establecerse en un mercado de exportación al cumplir con lo anterior y brindar un producto de alta calidad.



## X. Referencias

1. Acedo C. (2004-2008) Botánica en la web: Laurales. Disponible en: <http://www3.unileon.es/personal/wwdbvcac/index.htm> Fecha de consulta: octubre, 2008.
2. Alander, J; Andersson, A.C.; Malmros, H; Nilsson, J. (1999). Fractionation process. Patente: WO/1999/063031. Estocolmo.
3. Álvarez del Toro, J.A. (2004). Comité Nacional del Sistema Producto Aguacate. SAGARPA. Informe 2004 Aguacate.
4. Alvarez, L., Dorantes, Ortiz Moreno, A. (2006). Método para la obtención de aceite extravirgen de la pulpa de aguacate y una pasta residual baja en calorías con menor contaminación ambiental. Patente: WO 2006/004388. México.
5. APROAM. (2008). Comunicación personal de Técnico Fitosanitario Ing, en junio 2008.
6. Asociación de Empacadores y Exportadores de Aguacate del Estado de Michoacán (ASEEAM, 2006).
7. Arévalo-Galarza, L.; Saucedo-Veloz, C.; Bustos-Ramírez, E.; González-Hernández, H. (2002). Maduración de frutos de aguacate Hass con radiación Gamma. *Agrociencia* 36 (6): 667-673.
8. Arriola-Guevara, E., García-Herrera, T., Guatemala-Morales, G.M., Nungaray-Arellano, J., González Reynoso, O., Ruíz Gómez, J.C. (2006). Comportamiento del aguacate Hass liofilizado durante la operación de rehidratación. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 5(1): 51-56.
9. Arroyo, A. (2002). Producción de enzimas pectinasas por actinomicetos en cultivo sumergido utilizando pectina y cáscara de naranja. Lima.
10. ASERCA (1995). *Revista Claridades Agropecuarias*, 26. pp. 12-31.
11. Badui, D.S. (1999). *Química de los alimentos*. Addison Wesley y Logman de México. Citado en: JIMENEZ, M.E., ZAMBRANO, M.L. y AGUILAR, M.R. Estabilidad de Pigmentos en Frutas Sometidas a Tratamiento con Energía de Microondas.
12. Bardet, S; Legrand, J; Piccirilli, A. (2005). Procedimiento para la extracción de los componentes no saponificables a partir de los aceites vegetales, mediante cloro-1-butano. Patente: MX 226314. Francia.
13. Beaurline, D.J. (2003). Antimicrobial composition comprising soy oil, rice bran oil and jojoba oil. Patente : (WO/2003/047537). Estados Unidos.
14. Bercelo-Muñoz, A.; Pliego-Alfaro, F.(1999). Método para la micropagación de aguacate (*Persea Americana* Mill) adulto. Patente ES2134133 (A1). Oficina Española de Patentes y Marcas.
15. Bigatti, A.G; Claus, V. I.(2005). Hair care composition. Patente (WO/2005/079731).
16. Biocate (2008). Nombre del Archivo. Disponible en: <http://www.biocatecolombia.com>. Fecha de consulta: octubre, 2008.
17. Blogspot, (2008). En: [http://3.bp.blogspot.com/\\_ux0hxKTnNc/SMSUkbM34mI/AAAAAAAAAB8E/FPw-nNDCb4g/s400/DSC01620.JPG](http://3.bp.blogspot.com/_ux0hxKTnNc/SMSUkbM34mI/AAAAAAAAAB8E/FPw-nNDCb4g/s400/DSC01620.JPG). Fecha de consulta: julio, 2009.
18. Bora-Pushkar S.; Narain-N., Rocha Rosalynd V.M. y Queiroz P. M.. (2001). Characterization of the oils from the pulp and seeds of avocado (cultivar: fuerte) fruits. *Grasas y Aceites*, Vol. 52, Fasc. 3-4. p.p. 171-174.
19. Botha, B.M. (2004). Supercritical fluid extraction of avocado oil. Tshwane University of Technology, South African Avocado Growers' Association Yearbook. Vol. 27. p.p. 24-27.



20. Botha, B.M. y Mc Crindle, R.I. (2003). Supercritical fluid extraction of avocado oil. Department of Chemistry, Tshwane University of Technology, South African Avocado Growers' Association Yearbook. Vol. 26. p.p. 11-13.
21. Brito, J.I. (1997). Guacamole estabilizado y método para el mismo. . Patente MX 199620. México.
22. Brody, A.L. (1996) Envasado de alimentos en atmósferas controladas, modificadas y a vacío. Ed. Acribia, España.
23. Brokaw, W.H. (1982). Un método de reproducción y propagación de rizimas de aguacate. Patente ES8207409 (A3). España.
24. Broutin, N. (2002). Procedimiento para extraer compuestos lípidos de furano y alcoholes grasos polihidroxiados a partir de aguacate, composición basada en estos compuestos y uso terapéutico, cosmético y alimenticio de los mismos. Patente MXPA02003076 (A). México, IMPI.
25. Broutin, N.; Legrand J.; Piccirilli, A. (2007). Procedimiento para extraer compuestos lípidos de furano y alcoholes grasos polihroxilados a partir de aguacate, composición basada en estos compuestos y uso terapéutico, cosmético y alimenticio de los mismos. Patente MX 249956. Francia.
26. Brovelli, E. A.; Vallejos, J. A.; Ikonte, C; Menon, G. R.; Fast, D. J.; Chandra, A. (2005). Compositions cointaining Avocado leaf extract for lowering colesterol levels. Patente WO 2005/115422. Estados Unidos.
27. Brown Int Corp. (1988). Aparato para quitar la cáscara y el hueso de aguacates y similares. Patente ES8801097 (A1) 1988-03-01. País.
28. Brown, J. H.; Copeland, L. R.; Kleiman, R.; Koritala, S.; Cummings, M.K. (2001).High unsaponifiables and methods of using the same. Patente WO/2001/049257. Estados Unidos.
29. Buenrostro, M. y López Munguia, A. C. (1986). Enzymatic extraction of avocado oil. Biotechnology Letters. Vol. 8, No.7. p.p. 505-506.
30. Bushman, R. C. (1993). Método y aparato para quitar la cáscara y el hueso de aguacates y similares. Patente MX 167307. Estados Unidos.
31. Cabello-Melendo, R.; Vadillo-Pérez, J. M.; Casado-Cordón, J. y Jiménez Jiménez, J. (2008). Preparado lácteo basado en aceite de aguacate. Patente ES 2 301 367, Oficina Española de Patentes y Marcas.
32. California Avocado Commission. (2008). Nombre del archivo. Disponible en: <<http://www.avocado.org/>>
33. Cano, M., P.; De Ancos, B. y Sánchez Moreno, C. (2005) Altas presiones. Nueva alternativa para la mejora de la calidad y seguridad en vegetales frescos cortados. Simposium "Nuevas tecnologías de conservación y envasado de frutas y hortalizas. Vegetales frescos cortados" La Habana, Cuba.
34. Cano-Segura, F. C.; Jiménez García, S. N.; Villagómez Torres, A. F.; Sánchez Pérez, T.; Guevara González, R. y Miranda López, R. (2007). Identificación de Compuestos Presentes en Cáscara de Aguacate por Espectrometría de Masas. IX Congreso de Ciencia de los alimentos y V foro de ciencia y tecnología de alimentos. Ciudad, México.
35. Caro Riveros, N. P. (1998) Estudios de índices de madurez en frutos de palto (*Persea americana* MILL) var. Hass en distintas localidades de Chile. Chile.
36. Carreño Castillo, C.; Welti Chanes, J.; Vergara Balderas, F.; Guerrero Beltrán, J.A.; Mújica Paz, H. y Valdez Fragoso, A. (2006). Almacenamiento en atmósferas modificadas de aguacate: Modelación en el uso de películas plásticas. En: IPN-ENCB. Cibia Tomo I, pp. 71.. Disponible en: < <http://www.encb.ipn.mx/cibia/TomoI/I-71.pdf>>. Fecha de consulta: octubre, 2008.
37. CEI-RD. (2007). Perfiles de productos aguacate. Centro de Exportación e Inversión de la República Dominicana. CEI-RD. Disponible en: [www.cei-rd.gov.do](http://www.cei-rd.gov.do) . Fecha de consulta: octubre, 2008.



38. Cisneros Herrero, A. (1997). Producto topico capilar para la regeneración del cuero cabelludo. Patente ES2102333 (A1). Oficina Española de Patentes y Marcas.
39. COCAMPA. (2009). Disponible en: <[www.cocampa.com/img/hass.gif](http://www.cocampa.com/img/hass.gif)> Fecha de consulta: febrero, 2009.
40. Codex Alimentarius (1999). Norma del Codex para grasas y aceites comestibles no regulados por normas individuales. CODEX STAN 19-1981 (Rev. 2-1999)
41. Costa Rojas, V.A. (2001). Extracción enzimática y caracterización del aceite de palta (Persea americana Mill). Memoria de título. Santiago, Chile.
42. Curiel, M.(1990). Procedimiento para la extracción de aceite de aguacate. Patente MX 7650. México.
43. Chacon, S. A. (2006) Manual de procesamiento de frutas tropicales a escala artesanal en el Salvador. Procesamiento de frutas: Procesos húmedos y procesos secos. Ministerio de Agricultura y ganadería. Programa Nacional de frutas de El Salvador. El Salvador. p.p. 1-66
44. Chapnick, D. y Linda, G.I. (2004). A method for normalizing insulin levels. Patente WO/2004/039356. Estados Unidos.
45. De Ancos B.; Muñoz, M.; Gómez R., Sánchez Moreno, C. y Cano, M. P. (2006,) Nuevos sistemas emergentes de higienización en el procesado mínimo de alimentos vegetales. . I Simposio Ibero Americano de Vegetales Frescos Cortados, San Pedro, SP Brazil.
46. Devia Pineda, J. E. y Saldrarriaga, D. F. (2005). Proceso para obtener colorante a partir de la semilla del aguacate. Universidad Eafit, Colombia, Revista Universidad Eafit. Vol. 41, número 137. pp. 36-43.
47. Devia Pineda, J.E. . (2005). Pulverización de colorantes naturales por secado por atomización. Universidad Eafit, Grupo de investigación, desarrollo y diseño de procesos, Departamento de Ingeniería de Procesos. Medellín. Revista Universidad Eafit. Cuaderno de investigación No. 33. Disponible en: <<http://www.eafit.edu.co/NR/rdonlyres/E365637B-11A7-4D66-AFE3-E4D50B58AFCB/0/Cuaderno33.pdf>>. Fecha de consulta: septiembre, 2008.
48. Díaz García, E.; Zamudio Hernández, J.A.; Dueñas Vargas, R.; Costilla Cervantes, S. (2006). Proceso par la obtención de aguacate en polvo. Patente: WO 2006/088344. México.
49. Domínguez, M. G. (2007). Manual técnico de procesamiento de frutas bajo reglamentos y estándares internacionales de calidad. Enfocado a congelados, deshidratados y jugos con destino al mercado de Estados Unidos. Ministerio de Agricultura y Ganadería. Programa Nacional de Frutas de el Salvador. El Salvador. Primera edición. Disponible en: <http://frutales.com/docs/centro/manualestandares.pdf>
50. Eden Botanical Platforms: el experimento en desarrollo. Disponible en: <<http://www.ebpbotanics.com/plantas?idplanta=34>>. Fecha de consulta: noviembre, 2008.
51. Eger, S.; Neeman, I. (2000). Food Spreads. Patente WO/2000/040095. Estados Unidos.
52. Elias de Téllez, L.; Ladrón de Guevara, F.J. (1990). Procedimiento para preparar una composición aditiva para conservar la pulpa de aguacate. Patente MX 7710, Instituto Mexicano del Petróleo. México.
53. FAO (2004-2005). Bases de Datos Faostat. Producción de Aguacate en México. Disponible en: <http://faostat.fao.org/>
54. FAO (2009). Bases de Datos Faostat . Disponible en: <<http://faostat.fao.org/>>. Fecha de consulta: 13 julio ,2009
55. Faubion, D. F., Mitchell, F. G., y Mayer, G. (1992).Estudio de los Aguacates Hass. Almacenamiento Postcosecha en condiciones de Atmósferas Controladas AC. Proceedings of Second World Avocado Congress. University of California, Davis, USA. pp. 467-472Frumaco (2009). Calidad superior en la producción de alimentos derivados de aguacate. Disponible en: <http://www.frumaco.com/Spanish/default.htm>



56. Flickr. (2009). Disponible en: <<http://www.flickr.com/photos/pal1970/3287771517/>>. Fecha de consulta: julio, 2009.
57. Frumaco . (2008). En: <http://www.frumaco.com/Spanish/default.htm>
58. García Fajardo, J. A.; Ramos Godínez, M. del R.; Mora Galindo, J. (1999). Estructura de la semilla de aguacate y cuantificación de la grasa extraída por diferentes técnicas. Revista Chapingo, Serie Horticultura. Vol.5. p.p.123-128. México
59. Giacinti, M. A. (2002). Visión mundial del consumo de aguacate o palta. Agroalimentaria 14.:43-50
60. Gimferrer Morato, N. Consumer Eroski. (2008). Radiaciones ionizantes en alimentos. (2008). Disponible en: <[www.consumaseguridad.com](http://www.consumaseguridad.com)>. Fecha de consulta: septiembre, 2008.
61. Gode, V.; Khaiat, A.; Gomes, A.; Manke, A. (2004). Cosmetic powder for treatment of acne and method of making the same. Patente: WO 2004/089391. India.
62. González, M.I. . Centro atómico Ezeiza CNEA. (2009). La radiación gamma y sus aplicaciones. Disponible en: <[http://caebis.cnea.gov.ar/IdEN/CONOC\\_LA\\_ENERGIA\\_NUC/CAPITULO\\_5\\_Difusion/LA\\_TECNOLOGIA\\_NUCLEA R/La\\_rad\\_gamma\\_y\\_aplic.htm](http://caebis.cnea.gov.ar/IdEN/CONOC_LA_ENERGIA_NUC/CAPITULO_5_Difusion/LA_TECNOLOGIA_NUCLEA R/La_rad_gamma_y_aplic.htm)>. Fecha de consulta: septiembre, 2008.
63. Griebel, J.M., Kargel, B., Colleen. (2004). Method of treating avocados and method of preparing guacamole therefore. Patente WO 2004/100670. Estados Unidos.
64. Grollier, J.F., Pessis S. (1988) Composición cosmética protectora contra las radiaciones ultravioleta. Patente MX 156623. México.
65. Guzman Gastronomía (2009). Aceite de aguacate. Disponible en: <[http://guzmangastronomia.com/cas/p\\_aceite\\_aguacate.html](http://guzmangastronomia.com/cas/p_aceite_aguacate.html)>. Fecha de consulta: septiembre, 2008.
66. Guzmán Sánchez, I. (1997). Tónico capilar vitalizador para evitar la caída de la caída del cabello y pigmentarlo. Patente MX9600643 (A). 1997-08-30. México.
67. Hayek, M. G., Massimino, S.P., Roth, G. (2005). Pet food compositions. Patente WO/2005/110037. Estados Unidos.
68. Hernández, C. y Mieres, P. A. (2005). Rendimiento de la extracción por prensado en frío y refinación física del aceite de la almendra del fruto de la palma corozo (Acrocomia aculeata). Universidad de Carabobo. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Química, Valencia. Venezuela. Disponible en: <[http://www.ciiq.org/varios/peru\\_2005/Trabajos/IV/7/4.7.02.pdf](http://www.ciiq.org/varios/peru_2005/Trabajos/IV/7/4.7.02.pdf)>. Fecha de consulta: febrero, 2008.
69. Hilpert Clifford, L. (1993). Método de procesamiento de la pulpa de aguacate o palta. Patente MX9204716 (A1) 1993-07-01. México.
70. Hill, J. C. (2005). High unsaponifiables and methods and methods of using the same. Patente WO/2005/004831. Estados Unidos.
71. Horton, E. S. (1985). Método para eliminar cáscaras de aguacate. Patente MX 172764. Estados Unidos.
72. ICTA (2003). Recomendaciones técnicas para el cultivo de aguacate. Dsponible en: [http://www.icta.gob.gt/fpdf/recom\\_/frut\\_ls/cultivoaguacate.PDF](http://www.icta.gob.gt/fpdf/recom_/frut_ls/cultivoaguacate.PDF)>. Fecha de consulta: febrero, 2008.
73. INFOAGRO: (2008): El cultivo de aguacate. Disponible en: <[http://www.infoagro.com/frutas/frutas\\_tropicales/aguacate.htm](http://www.infoagro.com/frutas/frutas_tropicales/aguacate.htm)> . Fecha de consulta: febrero, 2008.
74. Jardín Botánico Mundani. (2009). Disponible en: <<http://jardin-mundani.com/>>. Fecha de consulta: octubre, 2008.
75. Jiménez Mendoza, D. (2005). Harina estabilizada de pulpa de aguacate, procesos para su obtención y productos alimenticios a partir de ésta. Patente MX 230112. México.





76. Jiménez, M. E., Aguilar, M. R., Zambrano, M. L., Kolar, E. (2001). Propiedades físicas y químicas del aceite de aguacate obtenido de puré deshidratado por microondas. *Journal of the Mexican Chemical Society*, 45 (2): 8992. 45, (2): 89-92.
77. Jiménez, M.E., Zambrano, M.L. y Aguilar, M.R. (2004). Estabilidad de Pigmentos en Frutas Sometidas a Tratamiento con Energía de Microondas. *Inf. tecnol.*, 15,(3): 61-66.
78. Kitinoja, L. y Kader, A. A. (1996). Manual de practicas de manejo postcosecha de los productos hortofrutícolas a pequeña escala. FAO, Series de horticultura postcosecha No. 8S. Disponible en: <[www.fao.org](http://www.fao.org)>. Fecha de consulta: marzo, 2008.
79. Kjaergaard Christensen, F. (2002). Method for the production and use of a cream containing vitamin A. Patente WO/2002/058663. Dinamarca.
80. Kopp, L. E. (1966). A taxonomic revision of the genus *Persea* in the Western Hemisphere (*Perseae-Lauraceae*). *Memoirs of the New York Botanical Garden* 14(1):1-120.
81. Laing, W. (2006). Phospatases, polynucleotides encoding these and uses thereof technical field. Patente WO/2006/011815. Nueva Zelanda.
82. Laboratorio de química. (2007). Extracción con fluidos supercríticos. Disponible en: <<http://labquimica.wordpress.com/2007/11/20/extraccion-con-fluidos-supercriticos/>>. Fecha de consulta: marzo, 2008.
83. Le Lay, Y.; Ruano Rosa, D. y López Herrera, C. (2007). Estudio de compatibilidad in vitro de aislados monosódicos de *Trichoderma* sp. Potenciales agentes biocontrol de la podredumbre blanca del aguacate. *Proceedings VI World Avocado Congress Viña Del Mar, Chile*. pp.12-16.
84. Le Roux, P. J. (2006). Therapeutic oil from plant origine. Patente (WO 2006/021924). Dinamarca.
85. López Gómez, R.; Torres Cárdenas, Y.; Chávez Moctezuma, M.; Salgado Garciglia, R.; Jiménez Moraila, B.; Corona Armenta, G. y Herrera Estrella, L. (2007). Genómica del fruto de aguacate criollo (*Persea americana* Mill. var. *Drymifolia*). *Proceedings VI World Avocado Congress . Viña Del Mar, Chile*. p.p. 1-10.
86. Madrigal Overhage, R. A. (2006). Composición de guacamole y proceso para la elaboración del mismo. Patente MX PA04011040 A. México.
87. Manqueley (2009). Disponible en: <<http://www.manqueley.cl/home.html>>
88. Marín, T. (2001). Consejo Nacional de Producción de Costa Rica. La maduración en los productos hortifrutícolas. Guía técnica postcosecha. No. 4. Disponible en : <[www.mercanet.cnp.go.cr/Calidad/Poscosecha/Guías\\_Técnicas/documentospdf/Maduración.pdf](http://www.mercanet.cnp.go.cr/Calidad/Poscosecha/Guías_Técnicas/documentospdf/Maduración.pdf)>. Fecha de consulta: octubre, 2008.
89. Martínez, B. R. (1997). La producción nacional de aguacate y su importancia en el mercado internacional. Memorias del VI curso de aprobación fitosanitaria en el manejo del aguacate. Facultad de Agrobiología "Presidente Juárez" Uruapan Michoacán México. Citado en: Sánchez Colín, S.; Mijares Oviedo, P.; López-López, L.; Barrientos-Priego, A. F. (2001). *Historia del aguacate en México*
90. Massimino, S. P.; Niehoff, R. L.; Sarama, R.J., Tribelhorn, R.E. (2005). Process for preparing plant matter extracts and pet food compositions. Patente WO/2005/110036. Estados Unidos.
91. Mattei, A. (2005). Cereal and fruit oil. Patente WO/2005/120242) Italia.
92. Méndez Espinosa, D.R. (2007). Manual de buenas prácticas de cosecha del aguacate. Subprograma de inocuidad de los alimentos, componente agrícola. SAGARPA, Disponible en:



- <[www.cesavemich.org.mx/DocumentosSV/Manual%20de%20BPC%20revisado.pdf](http://www.cesavemich.org.mx/DocumentosSV/Manual%20de%20BPC%20revisado.pdf)>. Fecha de consulta: septiembre, 2008.
93. Mercado Flores, J., López Orozco, M., Martínez Soto, G., Alcántara González, M. L. (2006). Tecnología antiobscurecimiento en una formulación de pasta de aguacate (guacamole). Disponible en: <<http://www.respyn.uanl.mx/especiales/2006/ee-14-2006/documentos/Art34.pdf>> Fecha de consulta: septiembre, 2008.
94. Miranda, S. P.; Cárdenas, G.; López, D.; Lara Sagahon, A. V. (2003). Comportamiento de películas de Quitosán compuesto en un modelo de almacenamiento de aguacate. *Revista de la Sociedad Química de México*, 47 (4): 331-336.
95. Msika, P.; Boumediene, K.; Pujol, J.P.; Guillou, G.B.; Ghayor, C. (2005). Utilización de componentes insaponificables de aceites vegetales para la preparación de un medicamento. Patente MX 231541. Francia.
96. Msika, P.; Piccirilli, A.; Piccardi, N.; Paul, F.; Bredif, S. (2007). Medicamento que comprende un extracto de péptido de aguacate el cual se propone para el tratamiento y prevención de afecciones que se enlazan a una deficiencia del sistema inmune. Patente MXPA06012638 A. México.
97. Naciones Unidas-COMTRADE. (2006)
98. Nolasco M., Salcedo M. y Vázquez, G. (2007). Activación del Sistema Plasminógeno-Plasmina y el Papel de PAI-1 en Patologías Humanas. Laboratorio de Oncología Genómica, Unidad de Investigación Médica en Enfermedades Oncológicas, México. p.p. 171-183
99. Norberg, S., Alander, J., Jacobsson, R. (2003). Lanolin substitute based on shea butter. Patente WO/2003/099240. Estocolmo.
100. Norma del CODEX para el aguacate. (2005). CODEX STAN 197-1995, EMD. 1-2005.
101. Olaeta, J. A. (2003). Industrialización del aguacate: Estado actual y perspectivas futuras. *Proceedings V World Avocado Congress*. Chile. pp. 749-754.
102. Olaeta, J. A.; Undurraga, P.L.; Guajardo, S. (2003). Caracterización y evaluación en almacenaje refrigerado del cv. De palto Isabel (Persea Americana Mill). *Proceedings V World Avocado Congress*. pp. 659-664.
103. Olaeta, J. Aguacate Hass: Consumo Industrial. (2006). Facultad de Agronomía Pontificia Universidad Católica de Valparaíso-Chile, y Comisión Michoacana de Aguacate. Disponible en: <[http://w4.siap.sagarpa.gob.mx/sispro/IndModelos/SP\\_AG/aguacate/CON\\_IND.pdf](http://w4.siap.sagarpa.gob.mx/sispro/IndModelos/SP_AG/aguacate/CON_IND.pdf)>. Fecha de consulta: enero, 2009.
104. Olaeta, J.A. y Rojas, M. (1987). Effect of cultivar and maturity on the quality of frozen avocado pulp. *South African Avocado Growers' Association Yearbook 1987. Proceedings of the First World Avocado Congress*. Chile. Vol. 10. p.p. 163-164.
105. Opazo Quesney, G. S. (2000). Caracterización histológica y bioquímica de desórdenes fisiológicos en paltas (Persea americana Mill.) cv. Hass en almacenaje refrigerado, en dos estados de madurez. Área de fruticultura, Universidad católica de Valparaíso, Facultad de agronomía. Chile. Tesis de Licenciatura. p.p. 1-68
106. Ortega Tovar, M. A. (2003). Valor nutrimental de la pulpa fresca de aguacate Hass. *Proceedings V World Avocado Congress*. México. pp. 741-748
107. Ortiz Moreno, A.; Dorantes Álvarez, L.; Galíndez Mayer, C.J.J. (2003). Desarrollo de un proceso para la obtención de aceite de aguacate de alta calidad empleando una tecnología emergente. Instituto Politécnico Nacional. México. Disponible en: <[http://www.pncta.com.mx/pages/pncta\\_investigaciones\\_03c.asp](http://www.pncta.com.mx/pages/pncta_investigaciones_03c.asp)>. Fecha de consulta: agosto, 2008.
108. Ortiz, A., Mora, R., Santiago, T., Dorantes, L. (2003)=. Obtención de una pasta de aguacate mediante tratamiento térmico. *Proceedings V World Avocado Congress México*. pp. 761-768.



109. Osuna García, J. A.; Beltrán, J.A.; Vázquez Valdivia, V. (2005). Efecto del 1-Metilciclopreno (1-MCP) sobre el comportamiento postcosecha del aguacate "Hass". *Revista fitotecnia Mexicana*, . 28(1): 1-8.
110. Pacheco, de Delahaye E.; ; Sánchez, A. M.; Girlando R.; Sánchez E.. (1994). Obtención de aislados proteicos de girasol por hidrólisis con bromelina y papaína, composición química y propiedades funcionales. *Agronomía Tropical*. 44(2): 299-315.
111. Pahua Ramos, M. E.; Ortiz Moreno, A.; Chamorro, C. G. y Garduño, S. L. (2007). Estudio de las Propiedades de la Semilla de Aguacate (*Persea americana*) Variedad Hass, para el Aprovechamiento Integral del Fruto. IX Congreso de ciencia de los alimentos y V foro de ciencia y tecnología de alimentos. México.
112. Paltita (2007): Disponible en: <<http://www.paltita.com/es/process.html>>. Fecha de consulta: septiembre, 2008.
113. Penagos Cavanzo, M. (1995). Producto para tratar las venas y úlceras varicosas y su procedimiento de obtención. Patente ES 2 075 815, Oficina Española de Patentes y Marcas.
114. Phillips, M. L. (2007). Powdered compositions and processes for preparing them. Patente WO 2007/105969, Nueva Zelanda.
115. Piccirilli, A.; Legrand J. (2005). Procedimiento de obtención de un extracto de hojas de aguacate rico en lípidos furánicos. Patente: ES2295624 (T3), MX PA05001237 A. IMPI. Francia.
116. Pino Chalá, W.; Guerrero, J.E.; Castro Rivas, A.; Castro Anilio, A.; Arlet Palacios, J.; Castro, A. (2003). Extracción artesanal de colorantes naturales, una alternativa de aprovechamiento de la diversidad biológica del chocó, Colombia. *Acta Biológica Colombiana*, 8(2): 95-98.
117. Plant Health Care (2009). Disponible en: < [http://www.phcmexico.com.mx/phcaguacate\\_org1.html](http://www.phcmexico.com.mx/phcaguacate_org1.html)>. Fecha de consulta: noviembre, 2008.
118. Reyes Alemán, J. C. (1996). Aplicación de productos alternativos para el control de *Colletotrichum gloeosporioides* en frutos de aguacate "Rincoatl". México. Disponible en: <<http://www.avocadosource.com/JournalsZ>
119. Reyes Alemán, J. C., Ferrera Cerrato, R. y Alarcón, A. (1998). Endomicorriza- arbuscular, bacterias y vermicomposta en plántulas de aguacate en vivero. Memoria Fundación Salvador Sánchez Colin CICTAMEX S.C Harinas, México.
120. Rincón, A. L.; Ortiz, G.; V. G. (2005) Análisis en inteligencia tecnológica ¿Qué es y para que sirve?. *Tecnología para a Saúde* No. 5. Disponible en: <[http://www.multiciencia.unicamp.br/rede\\_2\\_5.htm](http://www.multiciencia.unicamp.br/rede_2_5.htm)>. Fecha de consulta: diciembre, 2008.
121. Rodríguez Suppo, F. (1982). *El Aguacate*. AGT, Editor. México.
122. Rodríguez Suppo, F. (1992). *El aguacate*. Disponible en: <[www.fao.org/inpho/content/compend/text/ch30.htm](http://www.fao.org/inpho/content/compend/text/ch30.htm)>. Fecha de consulta: marzo, 2008.
123. Rueda Lugo, U.; González Tenorio, R.; Totosaus, A. (2006) ). Sustitución de lardo por grasa vegetal en salchichas: incorporación de pasta de aguacate. Efecto de la inhibición del oscurecimiento enzimático sobre el color. *Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 26(2): p.p. 441-445.
124. Rueda Lugo, U.; González Tenorio, R.; Totosaus, A. (2006). Cambios de color en salchichas de cerdo utilizando grasa vegetal (pasta de aguacate) como sustituto de grasa animal. México. Disponible en: <http://www.respyn.uanl.mx/especiales/2006/ee-14-2006/documentos/Art15.pdf>.
125. SAGARPA. (2007). Disponible en: [http://www.siap.sagarpa.gob.mx/ar\\_comdeagr.html](http://www.siap.sagarpa.gob.mx/ar_comdeagr.html)
126. Salunkhe, D.K. y Desai, B.B. (2000). *Postharvest biotechnology of fruits*. Ed. CRC Press, Vol 2. USA, p.p. 28-30
127. Salvador, L.; Miranda, S. P.; Aragón, N.; Lara, V. (1999). Recubrimiento de quitosán en aguacate. *Journal of the Mexican Chemical Society*, 43(1):18-23.



128. Sánchez Colín, S.; Mijares Oviedo, P.; López-López, L.; Barrientos-Priego, A. F. (2001). Historia del aguacate en México. pp. 171-187. Disponible en: <<http://www.avocadosource.com>> . Fecha de consulta: febrero, 2008.
129. Sánchez de Lorenzo-Cáceres, J.M. (2008). Árboles ornamentales: Persea americana Mill. Disponible en: <<http://www.arbolesornamentales.com/Perseaamericana.htm>>. Fecha de consulta: septiembre, 2008.
130. Sánchez, W. Windows Live. (2008). Técnicas de tinción. Fundamentos. Disponible en: <<http://quimicosclnicosxalapa04.spaces.live.com/Blog/cns!204AC1C68E772D5!1933.entry>>. Fecha de consulta: septiembre, 2008.
131. Schlosser, M.; Segal, J.; Neema, I. (2001). Use of avocado-soybean unsaponifiable preparations. Patente WO 2001/064232. Estados Unidos.
132. Schwartz, M.; Olaeta, J. A.; Undurraga, P.; Sepúlveda, M. y Tepper, P. (2007). Nuevo producto de palta/aguacate (Persea americana Mill): Pasta y trozos obtenidos por secado osmótico. Proceedings VI World Avocado Congress . Chile. pp. 12-16.
133. Schwartz, M.; Olaeta, J.A.; Undurraga, P. y Sepúlveda, M. (2007) ). Obtención y almacenamiento de palta (aguacate) en polvo. Proceedings VI World Avocado Congress. Viña Del Mar, Chile. pp. 12-16.
134. Schwartz, M.; Sepúlveda, M.; Olaeta, J. A. y Undurraga, P. (2003). Estabilidad del aguacate osmodeshidratado durante el almacenamiento. Proceedings V World Avocado Congress. Chile. pp. 755-760.
135. Secretaría de Economía. (2009). Guías empresariales: Estudio de mercado. Disponible en: <<http://www.economia.gob.mx/>>. Fecha de consulta: julio, 2009.
136. SIAP-SAGARPA: (2002). Canales de comercialización del aguacate en México en: <<http://www.siap.sagarpa.gob.mx/modelos/Cadenas/aguacate/comercial.pdf>>
137. SICA (1998). El aguacate. Disponible en: <[http://www.sica.gov.ec/agronegocios/Biblioteca/Ing%20Rizzo/perfiles\\_productos/AGUACATE.pdf](http://www.sica.gov.ec/agronegocios/Biblioteca/Ing%20Rizzo/perfiles_productos/AGUACATE.pdf)>. Fecha de consulta: agosto, 2008.
138. Swisher Horton, E. (1994). Método para eliminar las cáscaras de aguacate. Patente: MX172764 (B) 1994-01-11. Estado Unidos.
139. Téllez Luis, S.J.; Ramírez, J.A.; Pérez Lamela, C.; Vázquez, M.; Simal Gándara, J. (2001). Aplicación de la alta presión hidrostática en la conservación de los alimentos. Ciencia y Tecnología Alimentaria, 3(2): 66-80.
140. Terry, L.; Meyer, M.; Reay, N.; Ilkenhans, T.; Poulston, S.; Rowsell, L. y Smith, A. W. (2007). Supresión de la maduración en aguacates con un nuevo depurador de etileno provocado por paladio. Proceedings VI World Avocado. Viña Del Mar, Chile. p.p. 1-11
141. Universidad de Davis (2008). Aguacate (Palta): Recomendaciones para Mantener la Calidad Postcosecha . Disponible en: <<http://postharvest.ucdavis.eu/Produce/ProduceFacts/Espanol/Aguacate.shtml> >
142. Vázquez, J. (1975) Comportamiento durante el almacenaje en frío de algunas variedades de aguacate en Guatemala. Proc. Trop. Region ASHS (Guatemala). En: Caracterización histológica y bioquímica de desórdenes fisiológicos en paltas (Persea americana Mill.) cv. Hass en almacenaje refrigerado, en dos estado de madurez.
143. Velásquez de Klimo, I. (2006) Guía técnica manejo poscosecha de aguacate (Persea americana L.). Programa Nacional de frutas del Salvador. Ministerio de agricultura y ganadería. 1ra edición, El Salvador. p.p. 1-30
144. Velásquez Peláez, J. A. (2006). Identificación del aguacate como rubro importante de grandes oportunidades comerciales, según los acuerdos de integración, los nuevos tratados comerciales y el comercio mundial globalizado.



- Secretaría de Productividad y Competitividad. Gobernación de Antioquia. Disponible en: <[http://www.antioquia.gov.co/organismos/scompetividad/doc\\_estudios/elaguacatecomounrubroimportantedegrandesoportunidadesco/presentacioncongresoaguacate.pdf](http://www.antioquia.gov.co/organismos/scompetividad/doc_estudios/elaguacatecomounrubroimportantedegrandesoportunidadesco/presentacioncongresoaguacate.pdf)>. Fecha de consulta: agosto, 2008.
145. Velásquez, G.; Vázquez, P.; Vázquez, M.; Torres, J.A. (2005) Aplicaciones del procesado de alimentos por alta presión. *Ciencia y Tecnología Alimentaria*, 4(5): 343-352.
146. Vidales Fernández, I.; Salgado Garciglia, R.; Gómez Lim, M.A.; Ángel Palomares, E. y Guillén Andrade, H. (2003). Embriogénesis somática de aguacate (*Persea americana* Mill. Cv. Hass). *Proceedings V World Avocado Congress* pp. 89-95.
147. Vilchis, M., Juárez, P., y López, F. (2003). Receptores y funciones del TGF- beta, una citosina crucial en la cicatrización. *Gaceta Medica Mexicana*. Vol. 139. No.2. México. p.p. 126-143
148. Vildósola M.P. (2008). Efecto del escaldado sobre la calidad de puré congelado de palta cv. Hass, cosechada con dos índices de madurez. Pontificia Universidad Católica de Valparaíso. Chile.
149. Villazán, K., Ortiz, C. y Bonales, J. (2007). Estrategias de exportación de aguacate orgánico michoacano al mercado francés. *Proceedings VI World Avocado Congress Viña Del Mar, Chile*. p.p. 1-8.
150. Wikipedia (2008). Partes de una semilla de aguacate. . Disponible en: <[es.wikipedia.org/wiki/Semilla](http://es.wikipedia.org/wiki/Semilla)>. Fecha de consulta: septiembre, 2008.
151. Wikipedia (2009). Estado del arte. Disponible en: <[http://es.wikipedia.org/wiki/Estado\\_del\\_arte](http://es.wikipedia.org/wiki/Estado_del_arte)>. Fecha de consulta: enero, 2009.
152. Williams, L.O. (1977). The botany of the avocado and its relatives. *Proc. 1st international Tropical fruit Short Course, The Avocado*. University of Florida, Gainesville, Florida. USA. pp.9-15
153. Wills, R.H. y Lee, T.H. (1977). Fisiología y manipulación de frutas y hortalizas postrecolección. Ed. Acribia, S.A. Zaragoza, España. Capítulo 3, p.p. 18-41.
154. Yanagida, T. y Sakamoto, O. (2008). Composición estabilizada para el tratamiento cutáneo externo que comprende retinol. Patente ES2289370 (T3). Oficina Española de Patentes y Marcas.