



**UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN
NICOLAS DE HIDALGO**

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA

MEMORIA DE EXPERIENCIA PROFESIONAL

**ANÁLISIS DE LAS ALTERNATIVAS PARA EXTRACCIÓN DE
ACEITE DEL AGUACATE**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO QUÍMICO**

PRESENTA

P.I.Q. MARCELO REYES LÓPEZ

ASESOR:

M.C. JUAN RAMÓN ROMERO BUCIO



MORELIA, MICH. ABRIL DE 2011

RESUMEN

El aguacate pertenece a la familia de las lauráceas, y presenta una variada posibilidad de usos adicionales al alimenticio, entre ellos destacan los productos industrializados tales como: cremas para la piel, jabones de tocador, y como base a un sin número de productos y para obtención de aceite. Estos aceites se han aplicado tradicionalmente para fines cosméticos, pero de un tiempo a la fecha se ha incrementado la producción de aceite extra virgen para fines culinarios, teniendo una gran aceptación por el potencial de sus propiedades nutritivas.

México se ubica como el primer productor mundial de aguacate, siendo Michoacán uno de los principales estados que han contribuido a dicho nivel de competitividad con este rango de producción, lo que permite aprovechar los frutos no destinados a la exportación y la satisfacción del mercado local, a la extracción del aceite.

La extracción de aceite de aguacate puede llevarse a cabo por medio de diversas técnicas, donde no todas son efectivas. Entre ellas se tienen las de: prensas continuas, extractores por solventes y con aplicación de microondas; algunos de los cuidados que se deben observar en estos procesos es el de no utilizar temperaturas muy elevadas que lo degraden, ni sustancias que lo contaminen y sean de difícil remoción.

La situación actual de la extracción del aceite de aguacate en México genera que este producto este a un precio elevado en comparación con los otros aceites comestibles. Esto se debe al monopolio de unos cuantos productores. Para revertir esto es necesario que más productores entre a competir; incluso con mejores tecnologías. Para ello es importante revisar las diferentes alternativas de extracción y determinar cuál de ellas es la mejor, a fin de proponer la más viable con miras a mejorar el rendimiento, la calidad y por lo tanto el precio.

INDICE

Capítulo 1

1.1 Introducción	7
1.2 Justificación	12
1.3 Objetivo	13

Capítulo 2

2.1 Antecedentes, características y localización del aguacate	14
2.1.1 Características y especificaciones técnicas del aguacate	14
2.1.2 Localización y características de las zonas de producción	17
2.1.2.1 Localización geográfica	19
2.1.2.2 Análisis de la zona geográfica	19
2.1.2.3 Macro localización	19
2.1.2.4 Micro localización	20
2.1.3 Especificaciones técnicas del producto y calidades esperadas	23

Capítulo 3

Metodología de la extracción de aceite de aguacate	25
3.1 Pruebas experimentales	25
3.1.1 Extracción por solventes	26
3.1.2 Extracción por presión	27
3.1.3 Extracción por tratamiento con microondas	27

3.1.4 Extracción por centrifugación	27
3.1.5 Rendimientos de la extracción de aceite para las distintas alternativas	28
3.2 Análisis de las metodologías para la mejor elección de la extracción de aceite de aguacate	30
3.2.1 Extracción por solventes	31
3.2.2 Extracción por presión	31
3.2.3 Sistema combinado	33
3.2.4 Extracción por microondas	34
3.2.5 Extracción por centrifugación	37
3.2.5.1 Maquinaria y equipo	43
3.2.6 Nuevas tecnologías para la extracción de aceite de aguacate	45
3.3 Refinación de aceite	46
3.3.1 Neutralización	48
3.3.2 Decoloración (blanqueo)	49
3.3.3 Desgomado	50
3.3.4 Desodorizado	51
3.3.5 Winterización	51
3.3.6 Hidrogenación	52

Capítulo 4

Análisis y discusión de resultados	54
------------------------------------	----

Capítulo 5

Conclusiones	57
--------------	----

Anexos	58
--------	----

Referencias bibliográficas	63
----------------------------	----

Diagramas y tablas:

Cuadro1. Características principales de la cáscara, pulpa y semilla del aguacate fresco de la variedad hass y fuerte.	16
Cuadro 2. Principales variedades de aguacate que se cultivan en las zonas productoras del país	17
Cuadro 3. Principales características de la micro localización	21
Cuadro 4. Principales estados productores de aguacate en México	22
Cuadro 5. Composición de ácidos grasos de aceite de aguacate	23
Cuadro 6. Características del aceite de aguacate crudo	24
Cuadro 7. Propiedades físicas y químicas del aceite de aguacate con los diferentes métodos de extracción.	29
Cuadro 8. Balance de materia por microondas	36
Diagrama 1. Procesos de extracción de aceite de aguacate	30
Diagrama 2. Proceso de extracción de aceite de aguacate por solventes	32
Diagrama 3. Operación para la obtención de aceite crudo de aguacate por el proceso de centrifugación	40
Diagrama 4. Balance de materia del proceso de extracción por centrifugación	42
Diagrama 5. Proceso de extracción por centrifugación	44
Diagrama 6. Refinación del aceite obtenido en la centrifugación	47

ANÁLISIS DE LAS ALTERNATIVAS DE EXTRACCIÓN DEL ACEITE DE AGUACATE

Capítulo 1

1.1. INTRODUCCIÓN

El origen del aguacate tuvo lugar en las partes altas del centro y este de México, y partes altas de Guatemala, siendo en México donde se encontró la evidencia más antigua del consumo de esta fruta, que data de 10,000 años A. C. la que fue encontrada en una cueva localizada en Coxcatlán, Puebla.

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 de 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. La matrícula que marcaba la mercancía que se daba al imperio Azteca como tributo del poblado de Ahuacatlan era el “ahucacahuitl” solamente. Mientras que en el código Florentino se mencionan tres tipos de aguacate: aoacaquauitl, tlacacolaoacatl y quilaoacatl, los cuales, es posible que correspondan a las tres razas que son conocidas ahora.

En la época colonial los españoles introdujeron el aguacate a otros países americanos y a Europa. A finales del siglo XIX y principios del XX el consumo de aguacate estuvo basado en la producción de plantas de las razas mexicanas y antillana. Posteriormente con la adopción de técnicas de propagación como el injerto y con el descubrimiento del aguacate “Fuerte” comenzó el establecimiento de las primeras huertas. En las décadas de los 50, 60 y 70’s comienza el cultivo de las variedades: **Hass**, Fuerte, Bacón, Rincón, Zutano y criollos de 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 dado que se le hicieron mejoras genéticas. El establecimiento de los huertos comerciales de esta variedad Hass se extiende y sustituye poco a poco en el mercado nacional al de variedad denominado “Fuerte” y otras variedades. Con el incremento de la superficie de la variedad **Hass**, México es actualmente el mayor productor y consumidor de aguacate en el mundo, con una producción de 1, 148,517 toneladas cosechadas en 124, 823 hectáreas en el año de 1997. El consumo per cápita de aguacate en México aumentó de 3 kg. en 1970 a 10 kg. en los años 90’s y México exporta cerca del 5% de su producción anual.

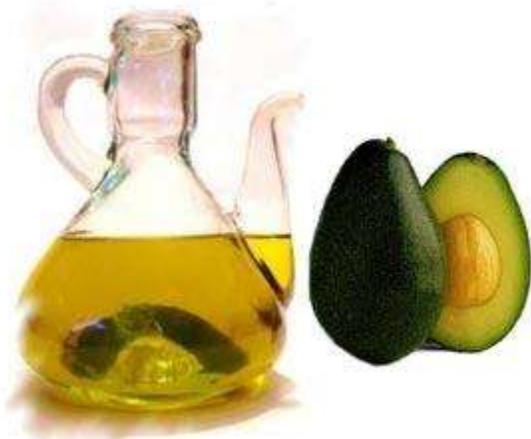


El aguacate pertenece a la familia de las Lauráceas, que abarca plantas leñosas productoras de esencias que crecen en regiones cálidas, y en la que también se incluyen el laurel, el alcanfor y la canela. Las especies que se conocen del aguacate Hass son: Mexicana, Antillana y Guatemalteca. Los frutos de la especie mexicana son de pequeño tamaño y contienen un alto porcentaje en aceite, mientras que los de la Antillana, son de mayor tamaño y de menor contenido de aceite. Los frutos de la especie Guatemalteca presentan características intermedias entre ambas.

En 1958 el estado de Michoacán tenía registradas 923 hectáreas de aguacate principalmente de tipos criollos. Más tarde, surgió la necesidad de tener variedades de mejor calidad, rendidores y con características comerciales; las primeras variedades introducidas fueron: Fuerte, Bacón y Zutano, caracterizadas por planta de mediana calidad al carecerse de conocimientos sobre propagación de plantas de aguacate.

Durante la época de los 90's el estado de Michoacán ocupa el primer lugar Nacional [1] con una superficie cultivada cercana a las 90,000 ha aproximadamente. Otros estados productores como Puebla, Chiapas, Estado de México, Veracruz, Jalisco, Nayarit, Morelos, Guanajuato, Guerrero y Sinaloa también son considerados productores importantes.

El aguacate, dependiendo de la variedad y 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 phitosterol, que posee las



mismas habilidades que la lanolina. Esta particularidad es muy apropiada para la piel y cremas de masajes [2, 3]. Hoy, sin embargo, la tendencia es a utilizar en 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 chef de cocina de la alta gastronomía europea, sustituyendo al aceite de oliva. Reed [4], comparó el aceite de

oliva con el aceite de aguacate, determinando que este último presenta mayores niveles de: clorofila, Índice de Yodo, Vitamina E y un menor nivel de acidez libre, lo que constituye una mejor calidad.

Nueva Zelanda, Sudáfrica, México y otros países, se encuentran produciendo este aceite de aguacate “Extra Virgen”, el cual se obtiene a partir del fruto sin piel y sin semilla, con un tratamiento de macerado en frío, y luego filtrado y embotellado. Con ello, el aceite mantiene todas las propiedades originales que lo hacen ser muy aceptable para la salud humana, ya que al no contener colesterol previene enfermedades cardiacas, reduciendo incluso problemas a la próstata.

De igual forma dicho aceite se comercializa en cápsulas lo que hace ser un buen suplemento dietético y como aerosoles para cocinar.

El aceite de aguacate se deteriora durante el almacenaje, por lo que la temperatura de almacenaje no debe ser superior a 25°C, y el tipo de envase oscuro, para preservar por más tiempo la calidad del producto.

El método tradicional que se vino usando durante centenares de años para la obtención de los aceites fue la prensa artesanal. Sin embargo es fundamentalmente en el siglo XX cuando comienzan a desarrollarse plantas extractoras y refinadoras de aceites que utilizan disolventes químicos para un mayor aprovechamiento de las plantas y semillas. La elevada rentabilidad de éste último método frente al método tradicional de presión en frío, ha dado lugar a que hoy en día la gran mayoría de aceites alimentarios comercializados en el mundo sean obtenidos por extracción.

Los aceites obtenidos por extracción se logran utilizando disolventes químicos. Algunos residuos de estos solventes al no poder eliminarse quedan en el producto final repercutiendo negativamente en la calidad deseada.

Asimismo, debido a las altas temperaturas a las que se realiza la extracción las sustancias beneficiosas de los aceites son destruidas.

Existe una tecnología por centrifugación para facilitar la extracción y producir un aceite de alta calidad desde el punto de vista nutricional, sensorial y de seguridad, la cual se describirá en este trabajo.

1.2 JUSTIFICACIÓN

En 1990 se instaló una planta extractora de aceite de aguacate en Santa Clara, municipio de Los Reyes, Michoacán; denominada “Aceites Esenciales y Humectantes de los Reyes, S.A. de C.V.”; la cual trabajaba la extracción por solvente (hexano).

La planta trabajó por un corto periodo de tiempo, debido a que el aceite obtenido contenía un alto índice de hexano que no se pudo separar, quedando contaminado y sin salir a la venta, por no cumplir con los estándares de calidad. El problema radica principalmente en el proceso además de la maquinaria utilizada, que era rudimentaria, dando resultados negativos en la extracción del aceite.

Debido a esto fue necesario investigar algunas alternativas de los diferentes métodos de extracción de aceites, para realizar un proyecto de una planta extractora que fuera más óptimo, de mayor rendimiento y con un producto de mayor calidad.

En el presente trabajo se realiza el análisis de los diferentes procesos o alternativas para la extracción del aceite de aguacate.

Después de la revisión de estas tecnologías y de la elección de la mejor de ellas se determinan las condiciones operacionales más viables para lograr un producto que rebase los actuales estándares de calidad. Consiguiendo así la de mejor rendimiento, la más económica, la que menos contamine y la más asequible a fin de poner a funcionar esta empresa.

1.3 OBJETIVO

Analizar las técnicas alternativas a nivel laboratorio para definir los procesos de extracción del aceite de aguacate a nivel industrial, para la comercialización como: materia prima en cosmetología, usos alimentarios y terapéuticos.

Capítulo 2

2.1 ANTECEDENTES, CARACTERISTICAS Y LOCALIZACION DEL AGUACATE

2.1.1 Características y Especificaciones Técnicas del Aguacate.

El fruto es una baya que consta de una sola semilla grande, con una gruesa y carnosa pulpa. El espesor y la textura de la cáscara difieren según la variedad. Los frutos varían de piriformes a redondos u ovalados; en peso, oscilan de unos cuantos gramos a Un kilogramo o más; el color varia desde verde amarillento claro, pasando por el verde oscuro castaño, y del pardo al negro púrpura.

Cuando la pulpa está madura, tiene la consistencia de mantequilla, de color crema amarillo brillante y a menudo verdosa cerca de la cáscara. Contiene una cantidad considerable de aceite vegetal de 3 al 30% en diferentes variedades. El aguacate en función de sus componentes proteínicos, minerales y grasos se coloca la cabeza de todos los frutos que se conservan frescos. El promedio del valor energético es de 2300 calorías/kilogramo. Con una coeficiente de digestibilidad idéntico al que presenta la grasa de leche. Es un excelente fuente de vitaminas A, B, C y E.

La característica más sobresaliente del aguacate es su alto contenido en grasas, principalmente rico en los ácidos grasos: Oleico, Palmítico, Linoleico y Palmitoleico, por otra parte la relación de ácidos grasos insaturados a saturados es alto, lo cual desde un punto de vista nutricional es muy aceptable.

Con respecto al contenido proteínico, los principales aminoácidos encontrados son:

Asparguina, ácido apartico, glutamina, ácido glutaminico, serina, treomina, alanina, valina, cisteína.

Es de alto interés nutricional debido al gran contenido de fosfatos y hierro. Contiene también algunos taninos como la catequina y los lacones.

El contenido vitamínico del aguacate, encontrado en 100 granos de pulpa fresca es el siguiente:

VITAMINAS	CONTENIDO (microgramos)
Caroteno	65
Areunina	100
Lactoflavina	170
Acido Ascórbico	9, 000
Calciferol	10
2-Metil 1-4-Naftoquinona	8
Tocoferol	3, 000
Biotina	10
Picotinamida	1

Fuente: Yearbook of the Avocado Society. Los Ángeles California.

Las principales variedades que se cultivan en México son: Hass, Fuerte y Criollo, de las cuales desde el punto de vista comercial, la más importante es la primera de estas, y por lo tanto es la que se cultiva en mayor proporción. Por esta razón se ha considerado para fines del estudio que el aguacate Hass, sea la materia prima a procesar y en algunas ocasiones la variedad fuerte.

Las características del aguacate variedades Hass y Fuerte que se utilizarán en el proceso de obtención del aceite, se presentan en la tabla siguiente:

CUADRO 1

CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE LA CÁSCARA, PULPA Y SEMILLA DEL AGUACATE FRESCO DE LA VARIEDAD HASS.

Concepto	Peso Promedio (gramos)	Pulpa (%)	Cáscara (%)	Semilla (%)
Fruto	200	63	20	17

Composición de la pulpa (%)	Hass	Promedio
Humedad	68.4	67.0
Aceite	1.8	23.3
Proteína	7.8	1.6
Carbohidratos	1.2	5.9
Ceniza	0.8	1.4

Fuente: El aguacate Emilio Brom Rojas. México.

2.1.2 LOCALIZACIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE LAS ZONAS DE PRODUCCIÓN.

En el cuadro 2 se muestran las variedades principales de aguacate que se cultivan en las zonas productoras del país.

CUADRO 2

PRINCIPALES VARIEDADES DE AGUACATE QUE SE CULTIVAN EN LAS ZONAS PRODUCTORAS DEL PAIS

ESTADO	ZONAS PRODUCTORAS	VARIEDADES PRINCIPALES
Michoacán	Uruapan, Periban, Tingüindin, Ziracuaretiro, San Juan Nuevo Parangaricutiro, Tingambato, Tacámbaro y Ario de Rosales.	Hass, Fuerte, Bacon, Wurtz, Rincón y Criollo.
México	Villa Guerrero, Coatepec Harinas, Tenancingo, Tonatico y Malinalco.	Fuerte, Hass, Sutano, Bacón y Criollo
Puebla	Atlixco, Tochimilco, Teziutlan, Zacapoaxtla, Xutetelco e ay ón de Matamoros.	Criollo, Fuerte, Hass, Bacon y Ricón.
Sinaloa	Culiacán, Mazatlán, El Fuerte, San Ignacio y Rosario.	San Miguel, Booth 7, Booth 8, Choquette, Criollo y otras.
Morelos	Tetela del Volcán, Ocuituco, Yacapixtla, Atlatlahucan, Tlalnepantla, Tlayacapan, Totoloapan, Cuernavac, Emiliano Zapata, Yautepec, Xochitepec y Cuautla.	Criollo y Fuerte.
Colima	Coquimatlán, Tecomán, Colima, Comal y Cuauhtémoc.	Booth 7, Booth 8, Choquette, Hass y Bacon.
Jalisco	Autlán, El Grullo, Tala, El Arenal, Tlajomulco y Guadalajara.	Booth7, Booth 8, Edranol, Grana, Hass y Fuerte.
Nayarit	San Blas, Jalisco, Tecuala y Santiago Ixcuintla.	Booth 7, Booth 8, Choquette, Hass y Criollo.
Veracruz	Jalacingo, Altotonga, Atzalan, Otatitlán, La Antigua y Calcahualco	Criollo, Fuerte, Lula y Rincón.

Fuente: Situaciones y perspectivas económicas de la producción de aguacate en México. FIRA.

2.1.2.1 LOCALIZACIÓN GEOGRAFICA.

En el mapa 1 se muestra la ubicación del estado de Michoacán en el país, y en el mapa 2 el territorio michoacano, así como sus ciudades mas importantes.



MAPA 1



MAPA 2

2.1.2.2 ANÁLISIS DE LA ZONA GEOGRAFICA.

Para definir la ubicación de la planta, los factores geográficos de mayor importancia, además de los correspondientes a la disponibilidad de la materia prima son:

- a) Cercanía a puertos. En virtud de que una parte de la producción del aceite se destinara a la exportación, es importante que la planta se ubique lo mas cercano posible a un puerto de altura.
- b) Aeropuerto. Se considera como una alternativa, el uso del avión para realizar los embarques nacionales, para garantizar la entrega del producto.
- c) Otros factores. La infraestructura con que cuenta la población donde se ubique la planta, de tal forma que se prefiera a la que ofrezca mas y mejores servicios como agua, energía eléctrica, suministro de combustibles, incentivos fiscales por parte de los gobiernos estatales, carreteras, comunicaciones, etc.

2.1.2.3 MACROLOCALIZACIÓN.

El factor principal que influye para determinar la ubicación donde se ubique la planta, es la localización de las zonas productoras de aguacate.

De acuerdo con este criterio, los principales estados productores de aguacate en el país son: Michoacán, Puebla, Estado de México, Chiapas y Sinaloa. Como ya se menciono con anterioridad, el estado de mayor relevancia por cuanto a sus volúmenes de producción es Michoacán, abarcando aproximadamente el 50% de la producción nacional de aguacate. Además la evolución de la producción en este estado manifiesta una tendencia creciente, lo cual no sucede en los otros estados productores.

Por lo anterior se determino el estado de Michoacán como la macro localización el proyecto.

2.1.2.4 MICRO LOCALIZACIÓN.

De acuerdo con lo anterior, dentro de las zonas productoras de aguacate de Michoacán las de mayor importancia son: Uruapan y Tacámbaro, mismas que se consideran como lugares alternativos para la micro localización.

De estas dos localidades, tomando en cuenta las condiciones antes mencionadas, se selecciono a la ciudad de Uruapan para ubicar la planta industrial, debido a que es la que reúne las características requeridas. En el cuadro 3 se muestra la ubicación del municipio de Uruapan.

CUADRO 3

PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DE LA MICRO LOCALIZACIÓN PARA EL PROYECTO

Ciudad:	Uruapan del Progreso
Ubicación:	150 km. De la ciudad de Morelia 420 km. A la ciudad de México 325 km. A la ciudad de Guadalajara 300 km. A la ciudad de Colima 300 km. Al puerto de Lázaro Cárdenas
Producción de aguacate en 1990:	53, 000 toneladas
Variedad de fruto predominante:	Hass
Área del municipio:	830 km cuadrados.
Altura sobre el nivel del mar:	1,620 m.
Temperatura máxima:	28.3 °C.
Temperatura mínima:	9 °C.
Días con lluvia apreciable:	125 días / año.
Numero de días con heladas:	3 días / año.
Clima:	Semiseco y semicálido.
Sismicidad:	Frecuente.
Numero de habitantes:	216, 000.
Principal actividad económica:	Agropecuaria.
Población económicamente activa:	43, 800 hab.
Servicios de Infraestructura:	Aeropuerto de aviación comercial, ferrocarril, camiones foráneos de pasajeros y de carga, hoteles, teléfono, telégrafo, hospitales, escuelas y servicios recreativos.

Fuente: Elaboración propia con datos de Merca métrica de 60 ciudades importantes del país.

CUADRO 4

PRINCIPALES ESTADOS PRODUCTORES DE AGUACATE EN MÉXICO

Lugar	Estado	Superficie Ha	Producción Ton	Prod. Prom. Ton/Ha
1	Michoacán	100,000	891,873	9.9
2	Puebla	4,545	27,270	6.0
3	Chiapas	4,123	20,615	5.0
4	Estado de México	3,876	29,845	7.7
5	Veracruz	3,774	30,569	8.1
6	Jalisco	3,190	31,900	10.0
7	Nayarit	2674	22,729	8.5
8	Morelos	2,610	13,050	5.0
9	Guanajuato	2243	13,458	6.0
10	Guerrero	1171	12,042	6.8
11	Sinaloa	1,643	17,580	10.7
12	Otros	4,374	37,616	8.6

Fuente: La producción Nacional de Aguacate. Facultad de Agro biología "Presidente Juárez"
Uruapan, Michoacán. México.

2.1.3 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL PRODUCTO Y CALIDADES ESPERADAS.

Características y Especificaciones técnicas del aceite de aguacate. El aceite de aguacate es generalmente clasificado como un aceite vegetal, el aguacate es una fruta y por tanto, el aceite de aguacate debería propiamente ser llamado como un aceite frutal. El olor de las grasas y aceites es una característica importante en estos productos, de tal forma que los consumidores presentan una preferencia por matices de acuerdo a sus expectativas para determinado tipo de aceite. En el caso del aceite de aguacate, la capa verde de clorofila debajo de la piel le imparte el color verdoso o marrón claro, tomándose al mismo tiempo amarillento o incoloro cuando es refinado.

En las tablas siguientes se presentan las características físicas y químicas del aceite de aguacate, así como el contenido de ácidos grasos, respectivamente.

CUADRO 5

COMPOSICION DE ACIDOS GRASOS DE ACEITE DE AGUACATE	
ACIDOS GRASOS	(%)
Mirístico	0.5 – 1.0
Palmítico	12 - 15
Palmitoleico	4.0 – 5.0
Esteárico	0.5 – 1.0
Oleico	68 - 74
Linoleico	9.0 - 10
Linolénico	0.5 – 1.0

Fuente: www.alimentación-sana.com.ar

CUADRO 6

CARACTERISTICAS DEL ACEITE DE AGUACATE CRUDO

COMPONENTE	VALOR
Ácidos grasos libres (Ac. Oleico), %	0.67
Índice de peróxido, meq peróxido/1g	0.14
Índice de saponificación	192.0
Índice de Iodo gd1/100g muestra	83.0
Materia insaponificable	1.36
Color	70 A, 2.5 V
Índice de refracción, (25 C)	1.4676
Peso específico	0.9135
Clorofila, ppm	41.3
Tocoferoles, mg/100g muestra	2.0
Alfa tocoferol, mg/100 muestra	0.2
Valor de hidróxido	15.2
Valor de ácidos	8.35

Fuente: Procesos de obtención del aguacate, productos, características, y usos. Instituto Técnico de América Latina. Brasil.

Capítulo 3

METODOLOGÍA DE LA EXTRACCIÓN DE ACEITE DEL AGUACATE

3.1 PRUEBAS EXPERIMENTALES

Las tecnologías tradicionales para extraer aceites comestibles se basan en: extracción por solventes, por presión, por microondas y por centrifugación; pero de ellas no todas ayudan a la extracción del aceite de aguacate, por lo que se hicieron pruebas experimentales de laboratorio para lograr que el aceite no se deteriorare y tenga buena calidad organoléptica.

Las pruebas experimentales que se desarrollaron para extraer el aceite de aguacate fueron las convencionales y las no convencionales.

Se analizaran los procesos de extracción con tecnologías convencionales:

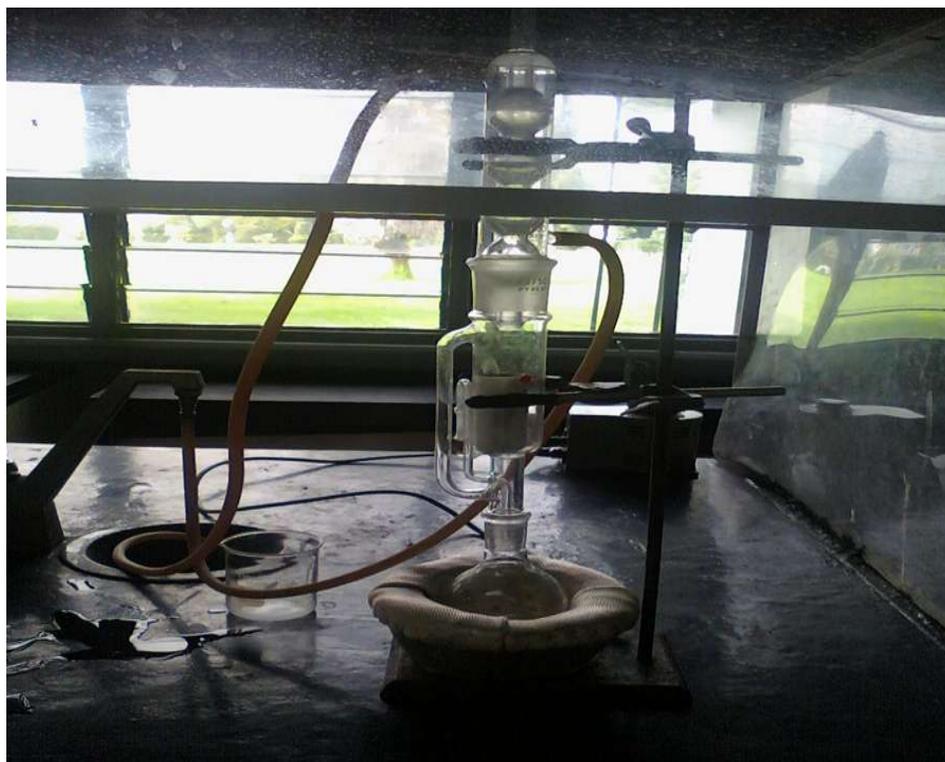
- con solventes
- y a presión

Extracción con tecnologías no convencionales:

- por microondas
- y por centrifugación

En el estudio se empleó aguacate variedad Hass de un peso promedio de 160 g, de estado de madurez uniforme, al que se le eliminó el hueso y la cáscara, preparando posteriormente el puré de la pulpa. Se efectuó un análisis de su composición química general en base húmeda con el fin de determinar las características del aguacate Hass adquirido por los centros comerciales comunes, el aceite es el principal componente indicador de la especie de aguacate, utilizando estos resultados para su relación con los datos reportados en la literatura [22,23].

3.1.1 Extracción con solventes. La pulpa de aguacate se mezcló con hexano de acuerdo a las mejores condiciones obtenidas mediante el diseño de superficie de respuesta en cuanto a rendimiento de extracción del aceite. Una vez mezclada la muestra se procedió a su extracción, empleando el método de reflujo en un extractor Soxhlet y posteriormente se separó el aceite-solvente en un rota vapor.



3.1.2 Extracción por presión. Se calentó la pulpa a una temperatura de 95°C para eliminar el agua, después se llevo la pasta obtenida a una prensa hidráulica para la extracción, de la cual se tuvo bajo rendimiento, ya que mucho del aceite se quedo en la pulpa.

3.1.3 Extracción por Tratamiento con microondas. Para el secado por microondas se colocaron por triplicado muestras de 100 g de puré, se trató con microondas por 15 minutos en periodos de 3 min dando 1 minuto de reposo; después se le aplico la extracción por solvente con los pasos ya descritos anteriormente.

3.1.4 Extracción por centrifugación. La pulpa del aguacate se molió y se mezcló con agua caliente, en relación de 1:3, en un matraz, manteniendo la temperatura a 70 C por un tiempo de 30 minutos, con agitación constante (agitador magnético), hasta que se obtuvo un puré o mezcla homogénea. Se vació el puré dentro de la centrifuga y se obtuvieron tres fases: lodos, agua y aceite; para de ahí obtener el aceite.





3.1.5. RENDIMIENTOS DE LA EXTRACCION DE ACEITE PARA LAS DISTINTAS ALTERNATIVAS.

EXTRACCIÓN	W PULPA	SOLV. AGREG.	T EMP.	TIEMPO	REND.
SOLVENTE	200 g	HEX (600 ml)	55-65 °C	30 min	19.5 %
PRESION	200 g		T. Amb.		11.3 %
MICROONDAS	200 g	HEX (600 ml)	55-65 °C	30 min	20.2 %
CENTRIFUGACIÓN	200 g	AGUA (600 ml)	65-75 °C	30 min	16.6 %

El aceite obtenido con los diferentes métodos de extracción fue caracterizado mediante los siguientes índices [A. O. C. S.]: densidad, índice de refracción, Índice de yodo, Índice de saponificación, Índice de acidez, Índice de peróxidos y ácidos grasos libres [25].

CUADRO 7

PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL ACEITE CON LOS DIFERENTES MÉTODOS DE EXTRACCIÓN

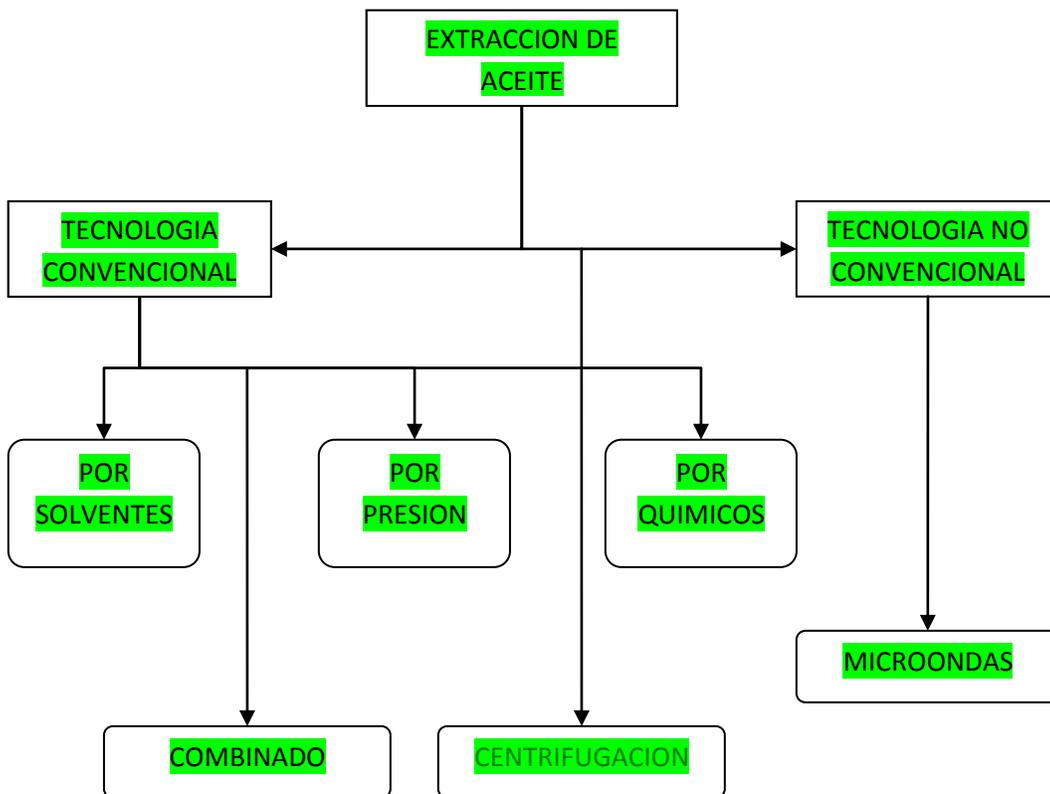
	Solvente	Microondas	Presión	Centrifugación	Referencia
Densidad (g/ml)	0.91354	0.97702	0.91050	0.925	0.9100
Ind.Saponificación (mgKOH/g)	214	219	217	198	189
Índice de yodo (cgl/g)	92.59	87.53	83.35	95	84
Índice de peroxido (meq/g)	22.73	26.93	38.10	10	14.9
Índice de acidez (mg KOH/g)	1.23	1.88	2.98	2.98	1.07
Índice de refraccion a 25 C	1.4684	1.4690	1.4688	1.4687	1.468
% Ácidos grasos libres	0.61	0.94	1.50	1.50	0.54

3.2 ANÁLISIS DE LAS METODOLOGÍAS PARA LA MEJOR ELECCIÓN DE LA EXTRACCIÓN DE ACEITE DE AGUACATE.

En el siguiente diagrama se muestran los diversos procesos para la extracción de aceite de aguacate, de los cuales se analizarán las metodologías de cada uno, para determinar cual de ellos es el más viable para obtener un producto de calidad y un alto rendimiento.

DIAGRAMA 1

PROCESOS DE EXTRACCION DE ACEITE DE AGUACATE



La extracción del aceite de aguacate puede llevarse a cabo por medio de los procesos convencionales que se usan para la extracción de aceites de semillas oleaginosas en los cuales se utilizan prensas continuas y extractores por solvente; en estos procesos se debe tener cuidado de no utilizar temperaturas muy elevadas, y la pulpa se debe proteger con una corriente continua de gas inerte, para que no haya oxidación del aceite, lo cual requiere de un proceso relativamente largo.

3.2.1 EXTRACCION POR SOLVENTES

Un proceso típico de extracción de aceite **por solventes** diagrama (2).

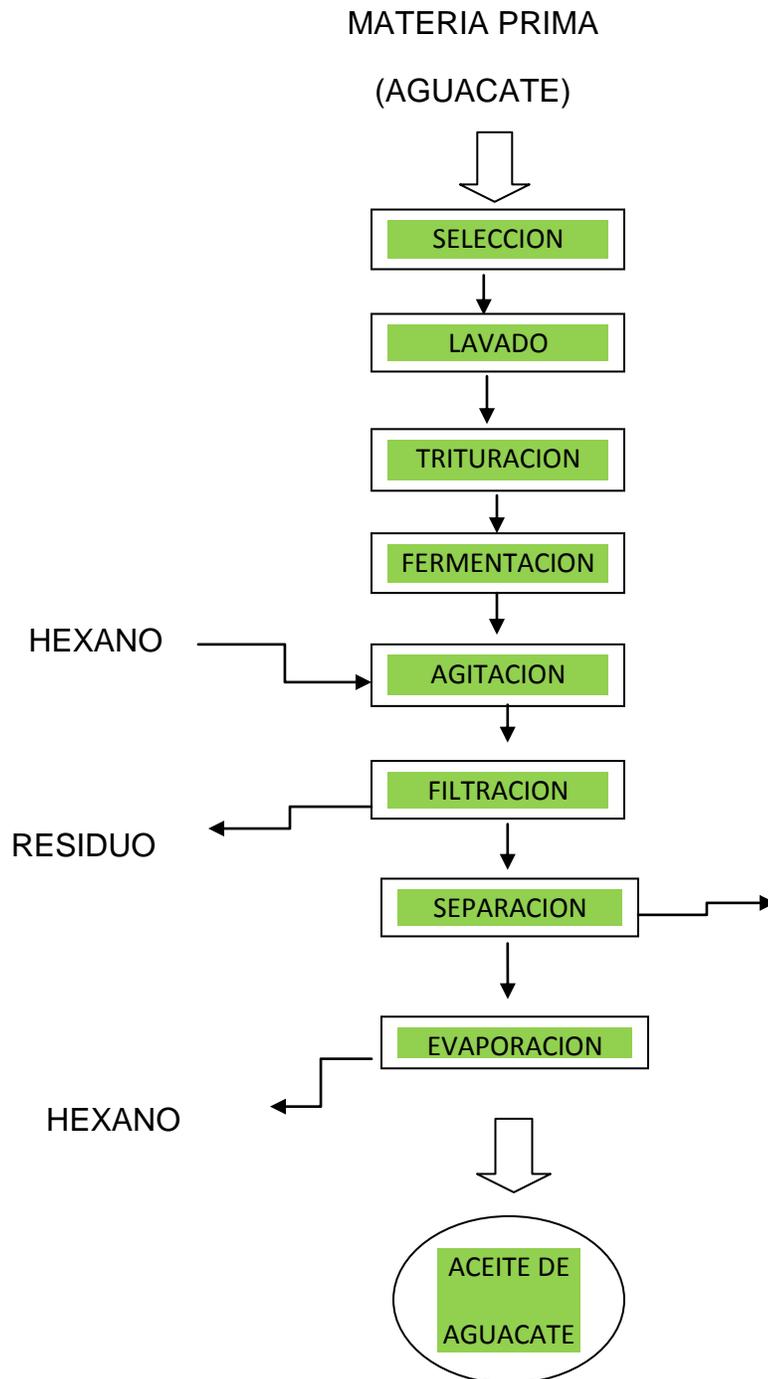
Para el eficaz cumplimiento de los fenómenos de ósmosis, difusión y extracción, la materia prima debe recibir una adecuada preparación. Esta consiste en el laminado de la misma, donde el material, sin sufrir extracción ni molienda, toma forma de láminas delgadas que favorecen la difusión.

La pulpa del aguacate circula por una cinta transportadora, donde queda sometida a un rociado intenso del disolvente. La solución obtenida de aceite-solvente, denominada "micela", es enviada a **destilación** para separar el aceite del solvente. A su vez la materia prima agotada se seca y tuesta para recuperar el resto del solvente.

El disolvente usado es hexano, siendo este el más inofensivo para la salud y el que produce aceites más puros.

El subproducto de esta extracción es la harina, con no más de 1-2 % de aceite. Por prensado de las harinas se obtienen los pellets.

DIAGRAMA 2
PROCESO DE EXTRACCION DE
ACEITE DE AGUACATE POR SOLVENTES



3.2.2 EXTRACCION POR PRESION

En la actualidad la extracción por **presión** se lleva a cabo casi exclusivamente por prensas continuas, por la economía de sus instalaciones, pero **no** realiza una profunda extracción de las materias grasas contenidas en la pulpa.

En recipientes calentadores de doble fondo se calienta la pasta a temperaturas que oscilan entre 90 °C y 95 °C, dependiendo del material con que se trabaje. El calentamiento busca eliminar el exceso de humedad de la pasta, con lo cual se aumenta el rendimiento al lograrse mayores presiones y facilitarse la fluidez del material trabajado.

3.2.3 SISTEMA COMBINADO (POR PENSADO Y POR SOLVENTE)

Se hace una primera extracción utilizando el método por presión continua y luego una segunda extracción con solvente.

Una de las principales ventajas que tiene este proceso, son las diferencias en las características químicas entre el aceite de aguacate producido y el que obtiene por otros métodos. El aceite obtenido de esta manera, de aguacates enteros y maduros, es verde oscuro y tiene un contenido de clorofila de 40 partes por millón. Debido a que el aceite verde tiene una apariencia natural que sugiere su origen de aguacate, es el preferido para algunos usos como productos cosméticos.

3.2.4 EXTRACCIÓN POR MICROONDAS

Las microondas son energía electromagnética de baja frecuencia que al penetrar en el alimento provocan fricción entre las moléculas produciendo calor. La profundidad de penetración (d_p) depende de la constante dieléctrica (ϵ') y de la constante de pérdida dieléctrica (ϵ'') del alimento. La temperatura alcanzada en el alimento está en función de sus propiedades dieléctricas, así como de otras propiedades físicas y químicas. La constante dieléctrica juega un importante papel en la interacción de las microondas y el material. Para la pulpa de aguacate los valores de $\epsilon' = 47$ y $\epsilon'' = 16$, que comparados con otros alimentos son favorables para la penetración de microondas.

Para la extracción del aceite de aguacate se ha reportado la utilización de disolventes como el hexano, que es el disolvente más utilizado en la extracción de aceites vegetales. La extracción con acetona ha sido también descrita y patentada y también el prensado en frío, sin la utilización de disolventes [11].

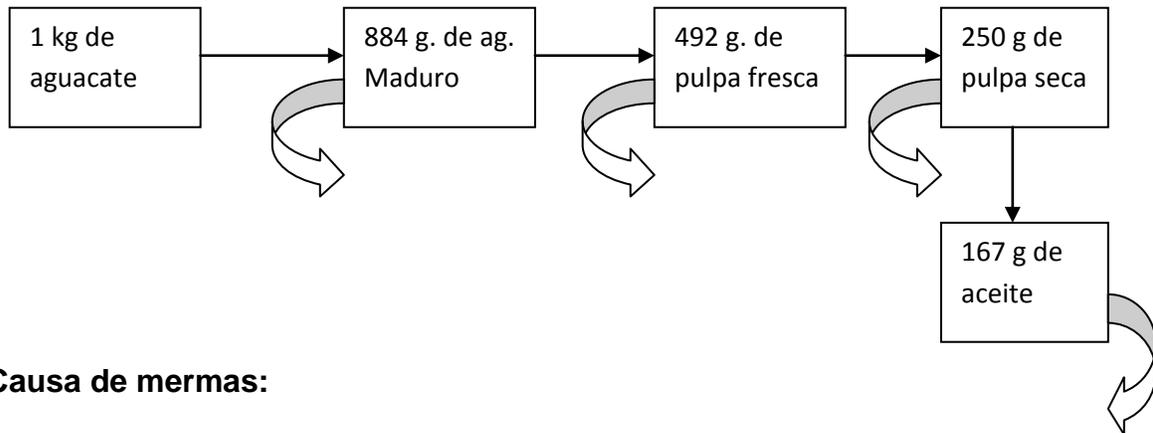
El procesamiento térmico con microondas representa una alternativa en cuanto al escaldado (tratamiento térmico que se aplica a productos vegetales) de los alimentos, ya que permite un calentamiento rápido y uniforme, minimizando los cambios en el sabor, color, textura y valor nutrimental del producto [12,13].

Estudios previos han demostrado que el tratamiento térmico con microondas disminuye reacciones de oscurecimiento enzimático en el aguacate [14]. Así mismo, el efecto combinado del tratamiento con microondas, disminución del pH y adición de sales de zinc permite conservar el color verde en puré de aguacate debido a la formación de complejos clorofila-zinc [15].

Sin embargo, para el desarrollo de este procesamiento es importante conocer su influencia en los lípidos y microestructura. La característica más importante en el fruto del aguacate es su elevado contenido de lípidos, siendo la principal fracción lipídica los triacilglicéridos [16]. Diversos reportes indican que durante el procesamiento térmico de los alimentos, a partir de los lípidos pueden generarse compuestos con efectos negativos en el metabolismo humano como son los ácidos grasos *trans*. Estos compuestos se comportan como ácidos grasos saturados y tienen algunos efectos adversos en el metabolismo humano, como la inhibición de la instauración y alargamiento de los ácidos linoleico y linolénico para formar otros ácidos grasos de importancia para el organismo como es el ácido araquidónico [17] precursor de los ácidos eicosanoides [18]. Además, los ácidos grasos *trans* producen un efecto negativo en las lipoproteínas del plasma humano, incrementando las lipoproteínas de baja densidad y disminuyendo las de alta densidad, contribuyendo a una mayor incidencia de las enfermedades cardiovasculares [19]. Debido a lo anterior, la Administración de Alimentos y Medicamentos de los Estados Unidos (FDA) ha establecido la inclusión de los ácidos grasos *trans* en el recuadro de la Declaración Nutrimental para alimentos convencionales, expresando el porcentaje de grasa saturada como la suma ácidos grasos saturados y ácidos grasos *trans*, cuyos límites permisibles van de 0.5 a 4.0 g por ración, considerando como libres de ácidos grasos *trans* aquellos alimentos que contienen menos de 0.5 g [20].

Este proceso no se ha probado a nivel industrial solo se han hecho pruebas en laboratorio, pero según resultados obtenidos indican que es una buena alternativa para la extracción de aceite con una buena calidad y un buen rendimiento (cuadro 8).

CUADRO 8
BALANCE DE MATERIA POR MICROONDAS



Causa de mermas:

- Maduración.
- Hueso, piel, merma al corte
- Perdida por humedad
- Bagazo (sólidos), fracción no separable, merma por manejo.

3.2.5 EXTRACCIÓN POR CENTRIFUGACIÓN

La producción de aceite de aguacate por medio de **centrifugación** fue desarrollada recientemente con el fin de reducir el costo de energía y minimizar la contaminación del aire causada por los solventes orgánicos. El proceso de extracción por el método de centrifugación se basa en la destrucción mecánica y enzimática de la celda de aceite.

Este proceso es relativamente nuevo a nivel industrial para la extracción de aceite de aguacate. Las condiciones de temperatura y PH tienen una influencia determinante en la eficiencia de este proceso. La separación óptima es a condiciones de 75°C y un PH de 5.5.

El proceso de extracción de aceite de aguacate crudo por el método de centrifugación, comprende las etapas que se muestran en el diagrama 3, mismas que se describen a continuación:

Recepción de materia prima. Los aguacates de desecho de la variedad Hass provenientes directamente de las huertas de producción o de las empacadoras, se reciben en el andén de carga y descarga, para posteriormente ser enviadas al almacén.

Selección de frutos. Debido a que el contenido de aceite en el aguacate depende del grado de maduración, es importante en primer lugar hacer una clasificación, enviando los frutos inmaduros al almacén, y los frutos maduros se colocan sobre la banda transportadora para ser enviados a la etapa de lavado.

Lavado. El lavado se realiza sobre unas mesas acondicionadas con regaderas de aspersión de agua, colocadas sobre la misma banda transportadora. Esta aspersión se realiza con la finalidad de la tierra y otras sustancias o materiales indeseables para el proceso.

Despulpado. De la mesa de lavado, los aguacates son depositados en un transportador de cangilones, el cual a su vez los deposita en una tolva receptora, que alimenta en forma constante a la despulpadora. La despulpadora tiene la función de desintegrar y eliminar la cáscara y la semilla del fruto por medio de la acción de centrifuga, separándose la pulpa por diferencia de gravedad.

La pulpa una vez separada, se recibe en un tanque de almacenamiento y se bombea a la siguiente etapa de proceso.

Homogeneización. La pulpa o pasta formada se pasa a los molinos coloidales, en donde al mismo tiempo se agrega agua, la cual sirve como vehículo de transporte, para ayudar a que se realice esta operación.

Como resultado de la homogeneización, se forma una emulsión estable de sólidos en líquidos, con tamaños de partículas en el rango de las diezmilésimas de milímetro (submicrones), para uniformizar los sólidos solubles en el agua.

Calentamiento. La emulsión formada se envía a un tanque de calentamiento, provisto de una chaqueta de vapor, en donde se eleva la temperatura hasta 75°C, con agitación constante durante 30 minutos.

Primera etapa de centrifugación. Del tanque de calentamiento, la emulsión se bombea a la centrifugas de tres fases, en las cuales se separa por diferencia de gravedad y debido a la fuerza centrifuga, en tres corrientes: lodos, aceite y agua.

El aceite de aguacate contiene enzimas celulíticas, y pectolíticas, las cuales causan la hidrolización y oxidación del aceite. Cabe mencionar que la temperatura óptima para la centrifugación es de 75°C, temperatura a la cual las enzimas están inactivadas. La eficiencia máxima de extracción bajo estas condiciones es de 72.7%.

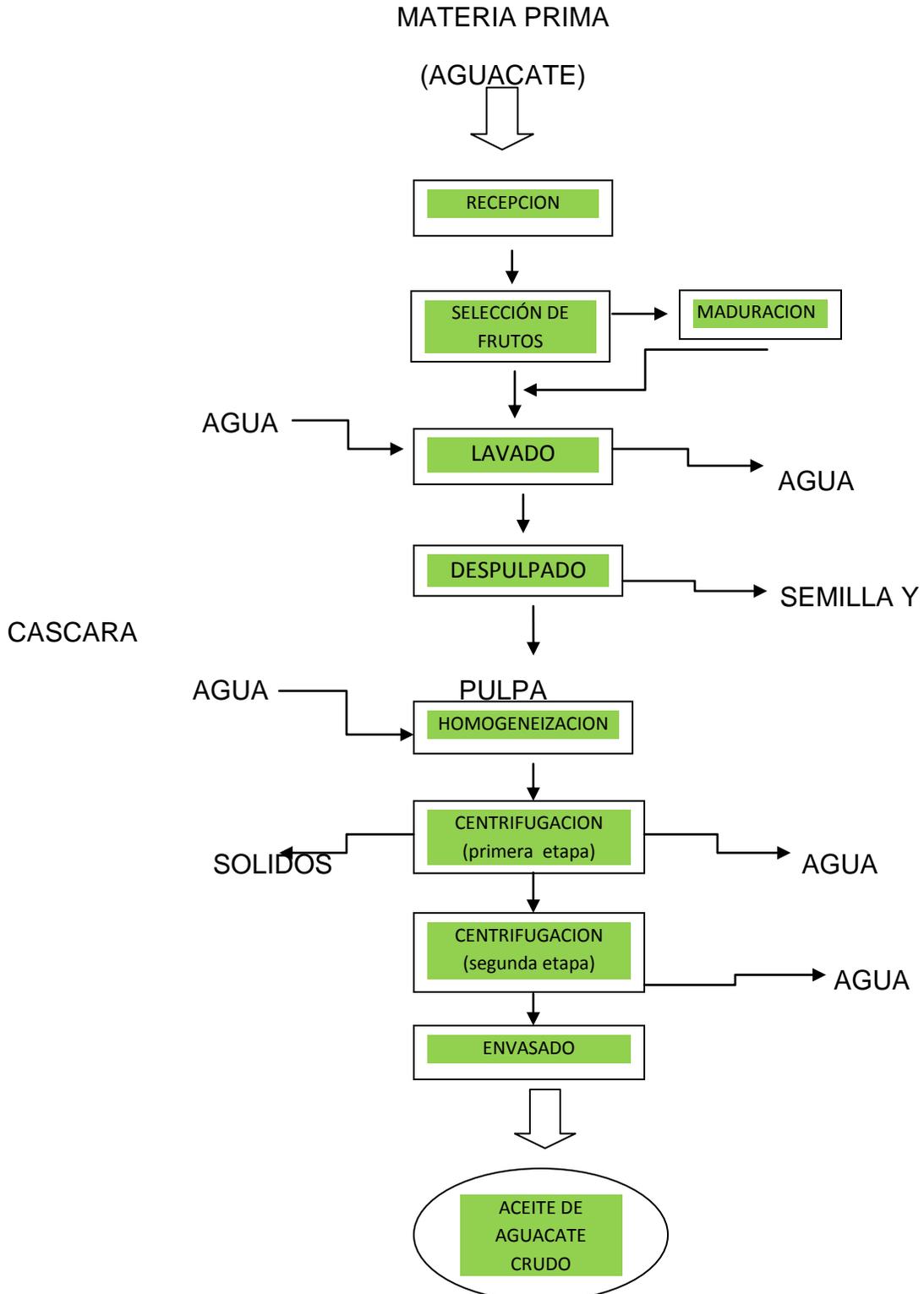
Segunda etapa de centrifugación. El aceite obtenido en la etapa anterior, se envía a la segunda etapa de centrifugación, que tiene la finalidad de eliminar el exceso de agua contenido en el aceite. El producto obtenido es un aceite crudo con un contenido de humedad del 0.5%.

Envasado. El aceite crudo se envía al tanque de almacenamiento, el cual deberá contener un recubrimiento de pintura epoxica, para evitar el contacto directo del aceite con la pared metálica del tanque, lo cual ocasionaría la contaminación u oxidación del producto.

El aceite de aguacate se envasa en tambos de plástico de 200 litros, los cuales se envían al almacén de producto terminado para su embarque final.

DIAGRAMA 3

DIAGRAMA DE OPERACIÓN PARA LA OBTENCIÓN DE ACEITE CRUDO DE AGUACATE POR EL PROCESO DE CENTRIFUGACIÓN



En el diagrama 4, se presenta el balance de materia del proceso de extracción de aceite de aguacate por el método de centrifugación, para una capacidad de procesamiento de 3.000 kilogramos de aguacate por hora. Como se puede observar, el rendimiento que se obtiene es de 1 kilogramo de aceite por cada 16.4 kg de aguacate. Asimismo, el agua requerida para la homogeneización es igual a 3 veces la cantidad de pasta que entra.

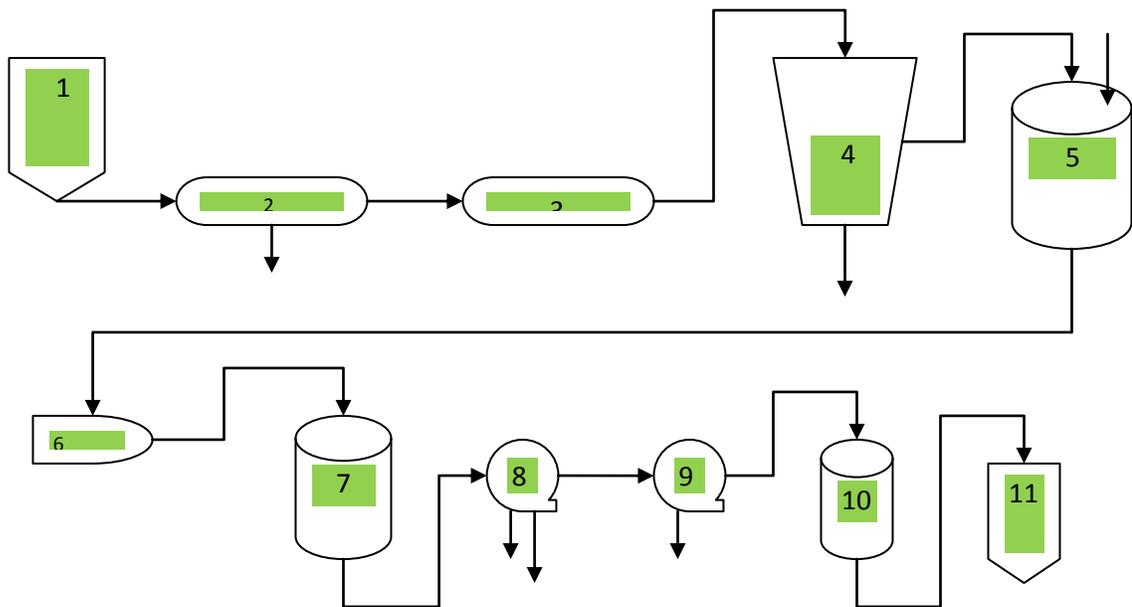
También se observa que en el primer centrifugado se retira toda el agua que se agrego en la homogeneización, y además, el 72.7% del agua contenida en la pasta de aguacate.

3.2.5.1 Maquinaria y equipo.

Equipo principal. El equipo principal que se requiere para la obtención de aceite de aguacate por el proceso de centrifugación, se enlista a continuación, y se muestra en el diagrama de arreglo de equipo. Ver diagrama 5.

- Mesa de inspección de rodillos
- Mesa de rodillos para lavado por aspersion.
- Tolva de retención para alimentación del despulpador.
- Despulpadora
- Tanque receptor de pulpa
- Dos molinos coloidales
- Tanque de calentamiento con chaqueta y agitación
- Cinco centrifugas de tres fases
- Centrífuga de secado líquido-líquido
- Tanque de recepción del producto

DIAGRAMA 5
PROCESO DE EXTRACCIÓN POR CENTRIFUGACIÓN



- 1) Tolva de recepción
- 2) Banda de selección
- 3) Lavadora de aguacate
- 4) Despulpadora
- 5) Tanque de pulpa
- 6) Molino coloidal

- 7) Tanque de emulsión
- 8) Centrifuga de tres fases
- 9) Centrifuga de secado
- 10) Tanque de aceite crudo
- 11) Llenadora

3.2.6 NUEVAS TECNOLOGÍAS PARA LA EXTRACCIÓN DE ACEITE DE AGUACATE

Actualmente existe una tecnología acondicionada recientemente para el proceso de extracción de aceite de aguacate que utiliza el principio de centrifugación, la cual puede ser una buena opción para la obtención de un producto más económico y de buena calidad, dependiendo de las especificaciones técnicas del equipo, así como del costo de inversión.



EXTRACTORA DE ACEITE DE AGUACATE. PEGASO 500, CAPACIDAD 1000 KG/H.

3.3 REFINACIÓN DE ACEITE.

La refinación libera los triglicéridos de impurezas indeseables, principalmente ácidos grasos libres, fosfáticos y otros constituyentes menores.

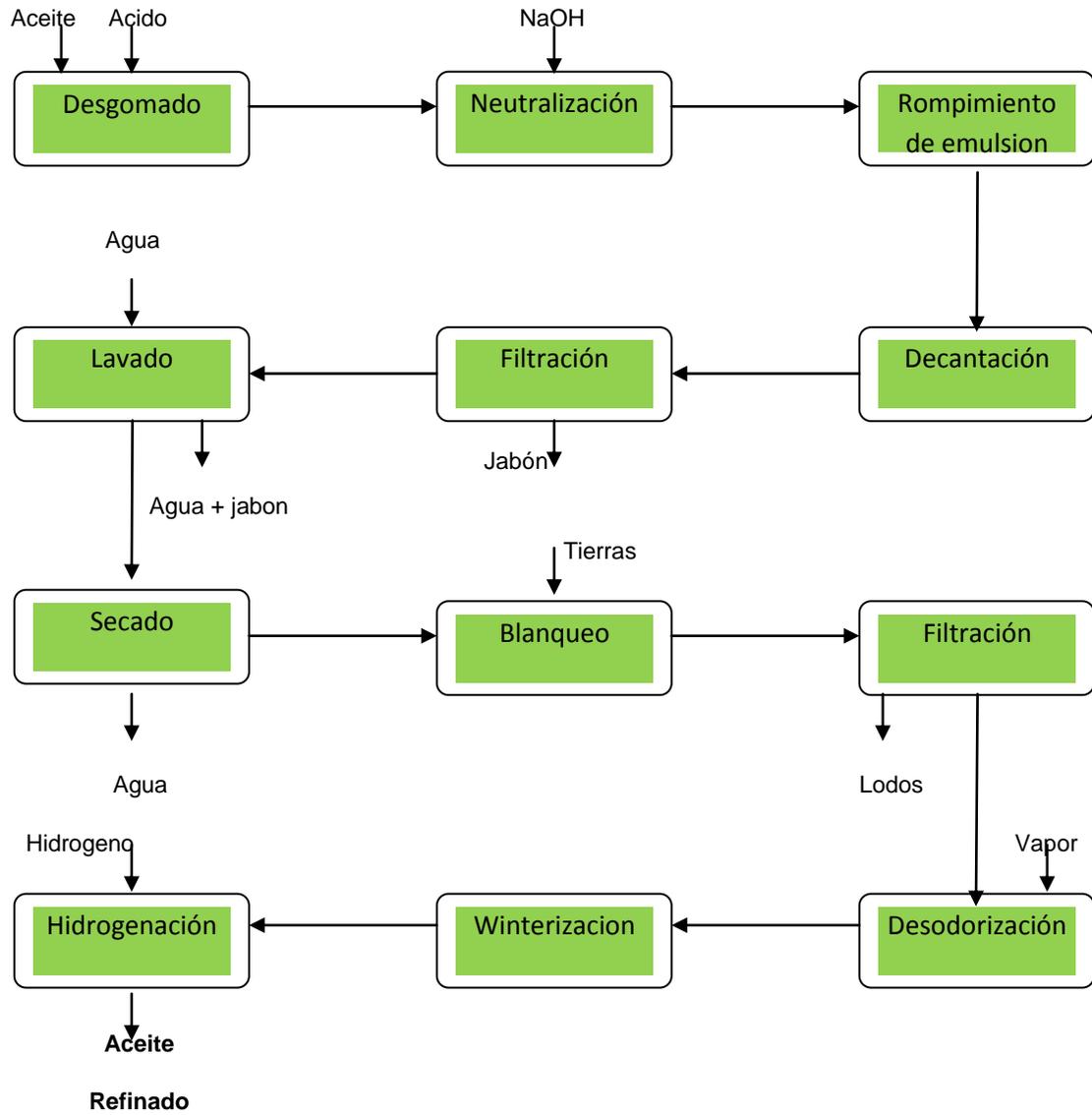
El aceite crudo se mezcla continuamente con una solución cáustica que neutraliza los AGL convirtiéndolos en jabón emulsionado [Anexo 1]. Para romper la emulsión se eleva la temperatura, y para separar el jabón se utiliza centrifugación. La fase del jabón se le conoce como jabón suave y se envía directamente a un tanque de almacenamiento.

La fase del aceite neutralizado aún contiene trazas de jabón que es necesario eliminar por dilución con agua caliente. A esta etapa del proceso se le conoce como lavado de aceite. La mezcla se centrifuga nuevamente y se obtiene por un lado agua jabonosa que va al drenaje y por otra, aceite lavado.

El aceite crudo se bombea desde los tanques de almacenamiento a través de un medidor registrador de flujo, hasta un tanque de alimentación al proceso.

La sosa cáustica la suministran los proveedores, en pipas de 8 a 30 ton, diluida al 40-50% y se recibe en un tanque con capacidad de 30 ton, de éste tanque se bombea a cualquiera de dos tanques de dilución en donde la concentración se reduce al 12-20% dependiendo del aceite a procesar. El aceite crudo y la sosa diluida se bombean separadamente hasta encontrar en una línea común antes de un mezclador estático en el que comienza la neutralización de los A. G. L.

DIAGRAMA 6
REFINACIÓN DEL ACEITE OBTENIDO EN LA CENTRIFUGACIÓN



3.3.1 Neutralización.

Es el proceso por el cual se eliminan ácidos grasos libres de los aceites, pero también reduce los monoacilglicéridos y fosfátidos que pudieron haber quedado después del desgomado.

La neutralización puede hacerse en caldera por cargas o en proceso continuo.

Cuando es por *cargas*, se hace añadiendo al aceite una solución de sosa al 12-15%, en la proporción estequiométrica deducida de una valoración previa. Esta operación se lleva a cabo en una caldera provista de un agitador y calefacción con vapor. La lejía se añade lentamente y se forma una emulsión en el aceite que luego se rompe. La emulsión, conforme aumenta la temperatura, se une en forma de pasta. La mezcla pasa a los decantadores donde se separa el jabón y el aceite.

En la operación se producen pérdidas por saponificación. El aceite decantado retiene residuos de jabón que debe someterse a un lavado, cuidando que no se forme emulsiones.

En las instalaciones *continuas*, el aceite disuelto en hexano, entra en un reactor de neutralización con agitación, junto con NaOH acuoso y alcohol. De allí pasa a un decantador donde se separan las fases y se recupera el aceite.

La neutralización de aceites con más de 12% de ácidos grasos libres es complicada, por que la abundante pasta formada es difícil de separar y las pérdidas son grandes. El proceso para la neutralización es entonces una destilación a vacío elevado.

El procedimiento se basa en que los ácidos grasos libres pueden destilarse a un vacío elevado. Para eliminar la totalidad de los ácidos grasos, sin deteriorar el aceite, se utiliza un vacío de hasta 5 mmHg y calentándolo a una temperatura de 180-240°C.

Los aceites bien neutralizados contienen menos de 0.1% de ácidos grasos libres. Esto es recomendable especialmente si los aceites se utilizarán para el proceso de hidrogenación.

Mediante las formulas estequiométricas dadas en el American Oils Chemist's Society y utilizando el valor del contenido de ácidos grasos libres (ACG) del aceite crudo, se calcula la cantidad de hidróxido de sodio necesario para la neutralización.[Anexo1]

3.3.2 Decoloración (Blanqueo).

El aceite neutro y lavado se decolora añadiendo tierras adsorbentes (arcillosa o silíceas). Las arcillas son tratadas con ácido clorhídrico o sulfúrico diluidos. El aceite y la tierra se agitan, a temperaturas máximas de 90°C. La cantidad de tierra necesaria depende de la cantidad de color del aceite y del grado de decoloración que se quiera obtener. A veces se utilizan mezclas de tierras y carbón activado (5-10%) para obtener mejores resultados. El aceite decolorado se filtra mediante filtro prensa y la tierra usada se desecha.

(La clorofila se fija bien a las arcillas y los carotenoides oxhidrilados son absorbidos por las tierras neutras y básicas, mientras que los betacarotenoides y el gospol no lo hacen así.)

En las instalaciones modernas la decoloración se hace en proceso continuo y al final se utilizan dos filtros prensa, uno en uso y otro en limpieza alternativamente.

3.3.3 Desgomado.

El objetivo es eliminar los fosfátidos y glicolípidos, que se extraen de las semillas disueltas con el aceite. Es importante el proceso debido a que sin este refinamiento, los triglicéridos se alteran con mayor facilidad y adquieren sabores y olores desagradables (Otros problemas indeseables son: decantación en los tanques de almacenamiento, mayor susceptibilidad a la oxidación, formación de espumas durante el calentamiento).

El proceso consiste en tratar el aceite con ácido fosforico, de ser necesario, el aceite se calienta a 50-60 C y se mezcla con 0.05-0.1% de ácido en un mezclador dinámico. Se pasa a una centrifuga de gran velocidad, en la que se separan los fosfátidos, junto con el agua en exceso, del aceite desgomado.

Los fosfátidos son deshidratados, y éste contiene otros lípidos e impurezas, y es de donde se obtienen las lecitinas. Puede ser tratado con peróxidos para obtener productos más claros. (Las lecitinas obtenidas tienen un valor comercial y se aplican, por su carácter emulgente, en diversas industrias de alimentación.)

3.3.4 Desodorización.

El aceite decolorado se desodoriza, a vacío, en un recipiente donde se caliente a 150-160°C, mientras se la pasa una corriente de vapor directo. Las sustancias volátiles son arrastradas, dejando el aceite libre de olores y con sabor suave.

En los *desodorizadores continuos* el aceite cae en láminas delgadas, dentro de una torre de calefacción, a vacío y a vapor de agua a contracorriente.

Hay que evitar todo contacto con el oxígeno, pues produce oxidaciones indeseables; el vapor que se utiliza debe estar desaireado, no debe de haber entradas de aire y el vacío debe ser muy elevado.

A veces se añaden secuestradores (esteres de ácido cítrico) para impedir la acción catalítica de los iones metálico. En la operación se destruyen también los peróxidos.

3.3.5 Winterización (hibernación).

Los aceites con un índice de yodo (IY) de aprox. 105 contiene glicéridos de puntos de fusión lo suficientemente altos como para depositarse en forma de cristales sólidos cuando se mantienen a temperaturas moderadamente bajas. Esto perjudica las propiedades del aceite. El aceite de mesa debe mantenerse claro y brillante sin enturbiarse o solidificarse a temperaturas de refrigeración.

Para lograrlo es necesario precipitar previamente los componentes de punto de fusión altos, separándolos por filtración. La mayor dificultad del proceso reside en conseguir el crecimiento de los cristales del glicérido de forma que al separarlos, retenga la menor cantidad posible de aceite líquido. Por esto, conviene que durante el proceso se formen cristales grandes, bajando lentamente la temperatura. Algunos aceites contienen una cantidad considerable de sustancias cristalizables.

La precipitación se hace en grandes depósitos, mantenidos en cámaras refrigeradas. La cristalización se hace con la solución en hexano, y en este caso los sólidos precipitados cristalizan en forma más compacta, dura y fácil de separar. Una vez que se forma la nucleación, el aceite en cristalización se mantiene en reposo, para evitar la desintegración de los cristales. La masa separada se conoce como estearina.

Las grasas de punto de fusión alto retiradas pueden utilizarse en la elaboración de otros productos

3.3.6 Hidrogenación.

La saturación con hidrogeno de los enlaces dobles, en los glicéridos con cadenas de ácidos grasos insaturados, da lugar a la elevación de puntos de fusión y naturalmente a la disminución del ÍY.

La saturación se produce por reacción de los aceites con hidrogeno, en presencia de un catalizador de níquel.

La reacción de saturación es exotérmica y se realiza a presión y temperaturas elevadas, manteniendo muy poco contacto con el aire. Se utilizan aproximadamente 500 g de catalizador por tonelada de aceite. En la hidrogenación, el ÍY va disminuyendo. En un comportamiento ideal, la hidrogenación completa se obtiene cuando el $ÍY = 0$.

La reacción de hidrogenación es selectiva y los ácidos grasos más insaturados tiene tendencia a reaccionar primero. Esta selectividad se usa para hacer hidrogenaciones parciales selectivas de aceites.

Pueden formarse isómeros *trans* por la acción del catalizador. Se producen reacciones hidrogenación-deshidrogenación que dan lugar a desplazamientos de dobles enlaces, existiendo glicéridos que son isómeros de posición y geométricos, de los naturales.

La hidrogenación puede dirigirse mediante el empleo de catalizadores selectivos.

El aceite seco se mezcla con el catalizador y se introduce en el reactor, en el que se calienta con agitación; cuando ha alcanzado una temperatura adecuada, se inicia la introducción del hidrogeno a presión. El aceite, el gas y el catalizador deben de estar en íntimo contacto, por lo cual se utilizan un agitador. La temperatura del proceso varía según el aceite utilizado, y oscila entre los 100 y 225°C, y la presión 1-4 atm.

La hidrogenación es un proceso exotérmico, la temperatura se controla mediante agua que circula mediante unos serpentines de refrigeración.

Cuando se ha alcanzado el grado de hidrogenación deseado, se cierra la entrada de gas, se enfría la mezcla sin bajar el punto de fusión y se filtra par recuperar el catalizador y obtener grasa limpia.

El índice de refracción (IR) varia según el numero de enlaces dobles presentes. El valor absoluto del IR depende del IY y del peso molecular medio de los glicéridos [anexo 2].

Capítulo 4

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Después de analizar los diferentes procesos de extracción, para determinar cual tiene los mejores y más óptimos rendimientos y elevada calidad, se obtuvieron los datos que a continuación se señalan:



- El proceso para la obtención del aceite de aguacate por **centrifugación** reúne las mejores características:
 - No utiliza temperaturas elevadas
 - No requiere utilizar atmósferas inertes.
 - El tiempo de proceso no es largo.
 - Reduce el costo de energía.
 - Minimiza la contaminación causada por solventes orgánicos.

El rendimiento que se obtiene es de 167 g de aceite por cada kg de aguacate (16%).

Asimismo, el agua requerida para la homogenización es igual a tres veces la cantidad de pasta que entra.

- **Por presión:** En la actualidad la extracción por presión se lleva a cabo casi exclusivamente por prensas continuas, por la economía de sus instalaciones, pero no realiza una profunda extracción de las materias grasas contenidas en sus semillas.
- **Por solvente:** La tecnología de extracción por solvente es uno de los procesos más comunes para separar el aceite.

Este sistema se caracteriza por su gran rendimiento, poco empleo de mano de obra y fuerza motriz, pero para el aceite de aguacate origina un deterioro en los componentes químicos de este.

En el país cuando se usa solvente, se hace en forma combinada, siendo poco común el uso exclusivo del método por solvente.

- **Tratamiento con microondas.** Se tuvo el máximo rendimiento de extracción del aceite y los menores valores de enantiómeros trans (isómeros ópticos), al aplicar el método combinado de microondas/extracción. Con este método se obtuvo también la menor alteración en el aceite. La cantidad de enantiómeros trans generados en los tratamientos en los que se aplicaron microondas estuvo siempre por debajo de los límites máximos propuestos por la FDA (Administración de Alimentos y Drogas), no siendo así cuando se extrajo el aceite sólo con disolventes. En general, se observó que el deterioro del aceite fue mayor por causa de los disolventes, que por la exposición a las microondas. Y que los tratamientos aplicados a la pasta de aguacate para extraer el aceite afectaron de manera diferente sus características físicas y químicas, el perfil de los ácidos grasos, el tipo y número de compuestos volátiles así como la estructura de los idioblastos (células diferentes a las que están a su alrededor), lo que en última instancia repercutió en la calidad y en la eficiencia de extracción del aceite.

Capítulo 5

CONCLUSIONES

Con lo anterior expuesto se concluye que el método de obtención de aceite de aguacate que da los mayores rendimientos y mejor calidad es el de extracción por centrifugación a base de agua y calor moderado. En los otros métodos como el de presión en frío, el de extracción con hexano, y microondas no le proporciona las mismas propiedades al aceite, debido a las altas temperaturas y la dificultad de eliminar el solvente que normalmente se usa en la extracción.

El proceso por **centrifugación** no requiere disolventes y por ende es un proceso que no contamina el medio ambiente y no altera las propiedades físicas y químicas del aceite, por eso la extracción por este método es el más apropiado.

Por otra parte la extracción por microondas parece ser una buena alternativa en cuanto al resultado de un aceite no alterado en sus propiedades, pero este proceso solo está hecho a nivel laboratorio y requiere de disolventes para un mejor rendimiento.

Michoacán está llegando a la saturación en superficies sembradas de aguacate. Estamos en el extremo proceso de que ya no exista más lugar para plantar aguacate, por eso es necesario buscar alternativas de comercialización, como producto terminado, para que con la misma producción de aguacate se obtengan mejores utilidades; y así evitar más superficies sembradas de esta fruta.

ANEXOS.

1.- ACIDOS GRASOS LIBRES (% ACIDEZ).

DEFINICION: Este método determina los ácidos grasos libres existentes en una muestra.

ALCANCE: Aplicable a aceites vegetales, crudos y refinados, marinas y grasas animal

APARATOS:

Matraz erlenmeyer de 250ml.

REACTIVOS:

1.- alcohol etílico al 95% (el alcohol deberá ser neutralizado con álcali e indicador de fenolftaleína hasta un vire rosa tenue y permanente

2.- Indicador de fenolftaleína al 1% en alcohol al 95%.

3.- Solución de NaOH 0.1 actualmente estandarizada

PROCEDIMIENTO:

1.- La muestra a analizar debe de estar libre de humedad y completamente liquida.

2.- Pesar de 10 a 12 gramos de muestra en un matraz erlenmeyer de 250 ml.

3.- Adicionar 30 ml de alcohol neutralizado con álcali.

4.- Calentar hasta la disolución completa.

5.- Agregar unas gotas de indicador de fenolftaleína.

6.- Titular con sosa 0.1 N hasta la aparición del primer color rosa permanente; el color debe persistir durante 30 segundos.

CALCULAR:

$\% \text{ ACIDEZ} = (\text{vol. De NaOH} \times \text{N NaOH} \times 28.2) / (\text{peso de la muestra})$

28.2 = factor para expresar la acidez (peso molecular) en términos de ácido oleico.

2.- VALOR DE YODO

DEFINICION: El valor de yodo es la medida de insaturación de los ácidos grasos y se expresa en términos de centigramos de yodo absorbido con gramo de muestra.

ALCANCE: Aplicable a todos los aceites, grasas y ácidos grasos.

APARATOS:

Matraz erlenmeyer.

Vidrio de reloj.

2 probetas.

2 buretas automáticas

REACTIVOS:

1.- Solución wijs. (Yodo monocloruro).

2.- Tiosulfato de sodio 0.1 N.

- 3.- Yoduro de potasio al 15%.
- 4.- Acetato de mercurio al 2.5%.
- 5.- Solución indicadora de de almidón al 1% (hervida).

PROCEDIMIENTO:

- 1.- Pesar una cantidad de muestra, libre de humedad y completamente líquida dentro de un matraz de 500 ml
 - 2.- Agregar aproximadamente 30ml. De tetracloruro de Carbono y disolver.
 - 3.- Adicionar 25ml. De solución de yodo y agitar para La mezcla sea homogénea.
 - 4.- Adicionar 10ml. De acetato de mercurio al 2.5%
 - 5.- Almacenar el matraz en un lugar oscuro tapándolo con un vidrio de reloj durante 6 minutos.
- Si no se adiciona acetato de mercurio, almacenar durante ½ hora.
- 6.- Sacar el matraz de la oscuridad y adicionar 20 ml de Yoduro de potasio al 15%.
 - 7.- Adicionar 100ml.aproximadamente de agua destilada.
 - 8.- Titular con solución de tiosulfato de sodio 0.1N hasta el vire amarillo paja.
 - 9.- Agregar unas gotas de indicador de almidón al 1% y seguir titulado a la desaparición del color azul a claro.

CALCULAR:

$$V = (B-G) \times 12.69 \times N / \text{peso de muestra}$$

B= ml de solución de tiosulfato de sodio utilizada para el ensayo en blanco

G= ml de solución de tiosulfato de sodio utilizada para la determinación

3.- VALOR DE PEROXIDO

DEFINICION: Este método determina el grado de oxidación de grasas o ácidos grasos. Indicándonos así mismo el grado de rancidez.

APARATOS:

2 Pipetas graduadas

2 Matraces erlenmeyer de 250 ml

2 tapones de hule

REACTIVOS:

1.- Solución de tiosulfato de sodio 0.01 N.

2.- Solución indicadora de almidón al 1% de agua destilada.

3.- Solución saturada de yoduro de potasio.

4.- Solución de ácido acético-cloroformo en proporción 3 a 2 (tres partes de ácido acético por dos de cloroformo).

PROCEDIMIENTO:

1.- Lavar perfectamente los matraces y pipetas y enjuagar con agua destilada. Secar.

2.- Pesar 5 gramos de muestra dentro de un matraz limpio y seco.

- 3.- Agregar 30 ml de solución de ácido acético-cloroformo y tapar.
- 4.- Agitar hasta la disolución de la muestra.
- 5.- Agregar 0.5 de solución saturada de yoduro de potasio y tapar nuevamente.
- 6.- agitar y dejar nuevamente en reposo durante 1 minuto.
- 7.- agregar 30 ml. De agua.
- 8.- agregar unas gotas de indicador de almidón.
- 9.- titular con solución de tiosulfato de sodio 0.01N hasta vire azul oscuro o claro.
- 10.- correr simultáneamente un blanco.

NOTA: Si el blanco gasta mas de 0.2 ml. De solución de tiosulfato de sodio desechar la solución saturada de yoduro de potasio y preparar una nueva.

CALCULOS:

Valor peroxido = $((G - B) \times 1000 \times N) / \text{ peso de muestra.}$

B= ml de solución de tiosulfato de sodio utilizada para el ensayo en blanco

G= ml de solución de tiosulfato de sodio utilizada para la determinación

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

[1] 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.

[2] HUMAN. T. R. 1987. Oil as byproduct of the avocado. South African Avocado Grower's Association. 10: 165-166.

[3] VALENZUELA, A. M. 1986. Extracción y caracterización del aceite de aguacate. Tesis Ing. Bioquímica. Valparaíso, Universidad Católica de Valparaíso, Facultad de ingeniería.

[4] REED 2001. Avocados: The new Gonder oil. Food New Zealand. 31(1):20-25.

[5] OLAETA, J.A. Y UNDURRAGA. 1995 b. Fresh Avocado pulp (*Persea americana* Mill) stored under modified atmosphere using CO₂ and N₂. III World Avocado Congress Tel Aviv. Israel October. ISHS Proceedings 370-372.

[6] OLAETA, J.A.; ROJAS, M. 1987. Effect of cultivar and maturity on quality of frozen avocado pulp. South African Avocado Grower's Association. 10: 163-164.

[7] INOUE, H. Y TATEISHI, A. 1995 Ripening and Fatty acids composition of avocado fruit in Japan. III World Avocado Congress Tel Aviv. Israel October. ISHS Proceedings 366-369.

[8] OLAETA, J. A, P. UNDURRAGA Y M. SCHWARTZ 1999. Determinación de la evolución y caracterización de los aceites en aguacates (*Persea americana* Mill cv. Fuerte y Hass cultivados en Chile. Revista Chapingo Vol V esp. 117-122.

[9] Alicia Ortiz y Lidia Dorantes, investigadoras de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas (ENCB) del Instituto Politécnico Nacional (IPN). La Jornada, 15 de Marzo de 2007 – ciencias -.

[10] División de Autenticidad. Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y diseño del Estado de Jalisco. Av. Normalistas No. 800, Guadalajara, Jalisco, 44270 México.

[11] Tesis: “Desarrollo de un proceso para la obtención de aceite de aguacate de alta calidad empleando una tecnología emergente”, autores: Ortiz, M. A; Dorantes, A. L.; Galíndez, M. C.; I.P.N. Edición 2003.

[12] Kidmose U, Martens, HJ. Changes in texture, microstructure and nutritional quality of carrot slices during blanching and freezing. J. Sci. Food Agric. 1999. 79: 1747-1753.

[13] Ramesh M, Wolf W, Tevini D, Bognár A. Microwave blanching of vegetables. J. Food Sci. 2002. 67: 391-398.

- [14] Dorantes L, Gutiérrez G, Barbosa-Cánovas G. Microwave and conventional heating inactivation of avocado polyphenoloxidase. En: Innovations in Food Processing; Barbosa-Cánovas G, Gould G, (Eds) Technomic, USA, 2000. pp. 149-161.
- [15] Guzmán R, Dorantes L, Hernández H, Hernández H, Ortiz A, Mora R. Effect of zinc and copper chloride on the color of avocado puree heated with microwaves. *Inn. Food Sci. Emerg. Technol.* 2002, 3: 47-53.
- [16] Seymour G, Turker G. Avocado en: biochemistry of fruit ripening. Editado por Seymour G, Taylor J, Tucker G. Editorial Chapman & Hall. 1993. pp. 53-81.
- [17] Chan H. The mechanism of autoxidation en: autoxidation of unsaturated lipids. Editado por Chan H. Editorial Academic Press. London, UK. 1987. pp. 1-16.
- [18] Krumel D. Lípidos. en: Nutrición y dietoterapia de Krause. Editado por M.L Kathleen y M.S Escote-Stump. Editorial McGraw-Hill Interamericana. New York. 1998. pp. 49-61.
- [19] Pendersen J, Johansson L, Thelle DS. *Trans*-fatty acids and health. *Tidsskr. Laegeforen.* 1998. 118: 3474-3480.
- [20] Institute of Food Science and Technology. *Trans* fatty acids (TFA). 2007.
- [21] 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.
- [22] Ranganna, S. Handbook of Analysis and Quality Control for *Fruit and Vegetable Products*. Ed. Mc Graw Hill Publishing Co. New Dehli, 1986.

[23] A.O.A.C. Official Methods of Analysis Association of Official Analytical Chemists. Washington D. C. 1984.

[24] Alzamora, S. M.; Chirife, J. J. Food Sci. 1980, 45, 1649-1657.

[25] Kirk, R. S.; Sawyer, R.; Egan, H. Composición y análisis de los *alimentos*, Pearson. Ed. Continental, México, 1996.