



**UNIVERSIDAD MICHOACANA
DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO**



**DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA**

TÍTULO DE TESIS:

**DISEÑO DE UN PROCESO PARA LA EXTRACCIÓN DE ACEITE EXTRA
VIRGEN DE AGUACATE**

**TESIS PARA OTENER EL GRADO DE MAestrÍA EN CIENCIAS EN INGENIERÍA
QUÍMICA**

PRESENTA:

GABRIELA CONTRERAS VALENCIA

ASESOR:

**MAESTRO EN CIENCIAS EN INGENIERÍA QUÍMICA JOSÉ DOMINGO ACUÑA
PARDO**

Morelia, Michoacán

Agosto, 2016

RESUMEN

El estado de Michoacán genera la mayor producción y venta de aguacate en fresco a nivel nacional e internacional, por tal hecho se desarrolló el presente proyecto de investigación utilizando la variedad *Hass* de la producción certificada del municipio de Nuevo Parangaricutiro como materia prima de este proceso propuesto.

En la fase inicial de este trabajo se llevó a cabo un proceso en laboratorio, donde se diseñaron varios experimentos a diferentes temperaturas con la finalidad de encontrar el nivel adecuado para la extracción de aceite de aguacate sin perder su calidad nutricional, encontrándose que la temperatura no es un factor que afecte significativamente la concentración de ácidos grasos contenidos en el aceite y resultando la temperatura una variable fija para el proceso. También pudo observarse que el índice de acidez menor a 1.0 se logra a temperaturas superiores a la temperatura de ebullición del agua.

Se procedió a analizar las variables para obtener un aceite de calidad extra virgen en una planta piloto sin adicionar alguna sustancia química, utilizando como base investigaciones realizadas con anterioridad en el equipo de trabajo. Logrando con esto disminuir los costos y el uso de energía siendo con esto un proceso más amigable con el medio ambiente.

Como resultado de esta investigación se propone un proceso novedoso para la extracción de aceite extra virgen sin el uso de sustancias químicas o físicas logrando con ello obtener un aceite extra virgen que cumple con todas las normas del consumo de aceite para el uso gourmet.

Palabras clave: aguacate, Hass, extracción, calidad, extra virgen.

ABSTRACT

The Michoacán state generates the biggest avocado production and sales, in national and international level, by the fact it development the present investigation project using the variety *Hass* from a certificate orchard in Nuevo Parangaricutiro, as raw material of this proposed project.

In the incipient phase of the project, it got a Laboratory process, where different temperature proofs were made, focus on finding the perfect point for avocado oil extraction, without losing nutritional quality, finding out that the temperature it's not a fact what influence significantly in fatty acids concentration contained in oil and making temperature a focus variable to the process. Also it can see that the less than 1.0 acidity value was achieved by higher temperatures to the water boiling temperature.

It proceeded to analyze parameters, which ones acquire extra virgin quality oil at a pilot plant without adding any chemicals substance, using as base past research in work team. Achieving with this project lower costs and energy employment, being a friendly environment process.

As a result of the research it intends a newfangled process for the extra virgin oil extraction without using chemical or physical substance thereby satisfy obtain extra virgin oil that accomplish all consume oil policy for gourmet employment.

Keys words: avocado, Hass, extraction, quality, extra virgin.

INDICE

RESUMEN	III
ABSTRACT	IV
INDICE DE TABLAS	V
INDICE DE FIGURAS	VII
1 INTRODUCCIÓN	1
1.1 Justificación	2
1.2 Hipótesis	4
1.3 Objetivo general	4
1.3.1 Objetivos específicos	4
2 ANTECEDENTES	5
2.1 Historia del proceso similar	11
2.2 Análisis comparativo	12
2.3 Proceso en México	14
3 MARCO TEÓRICO	16
3.1 Historia del origen del aguacate	16
3.2 Características generales del aguacate	16
3.2.1 Morfología y taxonomía del aguacate	17

3.2.2	Razas del aguacate	18
3.2.3	Plaga del aguacate	18
3.2.4	Enfermedades más comunes	21
3.2.5	Usos	24
3.3	Producción y comercialización del aguacate	25
3.3.1	El aguacate como producto	26
3.3.2	Normas oficiales mexicanas aplicadas al aguacate	28
3.3.3	Industrialización del aceite de aguacate	29
3.4	El aceite de aguacate	30
3.4.1	Caracterización y composición	31
3.5	Comparación con otros aceites comestibles	34
3.6	Técnicas de extracción del aceite de aguacate	35
3.6.1	Extracción con solventes	35
3.6.2	Centrifugación	37
3.6.3	Extracción por prensado en frío	37
3.6.4	Extracción con fluidos supercríticos	38
3.6.5	Extracción con enzimas en frío	38
4	METODOLOGÍA	40
4.1	Diseño experimental	40

4.2	Método del diseño experimental	40
4.3	Descripción del proceso de extracción de aceite extra virgen de aguacate	42
4.4	Selección de variables	43
4.4.1	Variables	43
4.4.2	Variables dependientes	45
4.5	Desarrollo	46
4.5.1	Análisis preliminar en laboratorio	46
4.5.1.1	Almacenamiento de materia prima	47
4.5.1.2	Lavado y secado	48
4.5.1.3	Selección de fruto	48
4.5.1.3.1	Caracterización del aguacate	49
4.5.1.4	Despulpado	50
4.5.1.5	Extrusión	51
4.5.1.6	Centrifugación	51
4.5.2	Desarrollo en planta piloto	52
4.5.2.1	Almacenamiento de materia prima	53
4.5.2.2	Lavado y secado	53
4.5.2.3	Selección de fruto	54
4.5.2.4	Despulpado	54

4.5.2.5	Extrusión	55
4.5.2.6	Centrifugación	55
5	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	57
5.1	Análisis preliminar en laboratorio	57
5.1.1	Almacenamiento de materia prima	57
5.1.2	Lavado y secado	58
5.1.3	Selección de fruto	60
5.1.4	Despulpado	61
5.1.5	Extrusión	62
5.1.6	Centrifugación	65
5.2	Desarrollo en planta piloto	68
5.2.1	Almacenamiento de materia prima	68
5.2.2	Lavado y secado	68
5.2.3	Selección de fruto	71
5.2.4	Despulpado	72
5.2.5	Extrusión	73
5.2.6	Centrifugación	77
5.3	Balances de materia y rendimientos del proceso	81
5.3.1	Balance de materia en despulpadora	81

5.3.2	Balance de materia en el evaporador-extrusor	82
5.3.3	Balance de materia en la centrifuga	82
5.3.4	Rendimiento global	83
6	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	88
6.1	Recomendaciones	90
7	ANEXOS	92
	Anexo 1: Técnica para la evaluación del índice de acidez	92
	Anexo 2: Técnica para la evaluación de la humedad	94
	Anexo 3: Técnica para la evaluación de la composición de los ácidos grasos por cromatografía de gases	96
8	REFERENCIAS	98

INDICE DE TABLAS

TABLA 2-1. COMPARACIÓN DE DIFERENTES PROCESOS DE OBTENCIÓN DE ACEITE DE AGUACATE	13
TABLA 3-1. TABLA DE LOS PRINCIPALES ÁCIDOS GRASOS CONTENIDOS EN EL ACEITE DE AGUACATE	32
TABLA 5-1. RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS EN EL EXOCARPIO DEL AGUACATE	58
TABLA 5-2. RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS EN EL MESOCARPIO DEL AGUACATE	59
TABLA 5-3. RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN DEL AGUACATE (PORCENTAJES EN PESO)	61
TABLA 5-4. RESULTADOS DEL CÁLCULO DE LA DENSIDAD DE LA PULPA	61
TABLA 5-5. RESULTADOS DEL ÍNDICE DE MATERIA SECA CONTENIDO EN LA PULPA PROCESADA	62
TABLA 5-6. TIEMPOS REQUERIDOS PARA LA EXTRUSION DE LA PASTA A DIFERENTES TEMPERATURAS	64
TABLA 5-7. RESULTADOS DE LA CENTRIFUGACIÓN	65
TABLA 5-8. CONCENTRACIONES DE LOS ÁCIDOS GRASOS	

PRESENTES EN EL ACEITE DE AGUACATE EXTRAIDO A DIFERENTES TEMPERATURAS	66
TABLA 5-9. RESULTADOS DE CROMATOGRAFÍAS REALIZADAS A MUESTRAS COMERCIALES	67
TABLA 5-10. CARACTERÍSTICAS DEL EQUIPO DE LAVADO	70
TABLA 5-11. CARACTERÍSTICAS DEL EQUIPO DE SECADO	71
TABLA 5-12. CARACTERÍSTICAS DEL EQUIPO DE DESPULPADO	72
TABLA 5-13. CARACTERÍSTICAS DEL EVAPORADOR - EXTRUSOR	76
TABLA 5-14. CARACTERÍSTICAS DE LA CENTRIFUGA 1	77
TABLA 5-15. CARACTERÍSTICAS DE LA CENTRIFUGA 2	78
TABLA 5-16. CONDICIONES DE OPERACIÓN	85
TABLA 5-17. DESCRIPCIÓN DE CORRIENTES	85
TABLA 5-18. CORRIENTES DESCRITAS DEL PROCESO FINAL	87

INDICE DE FIGURAS

FIGURA 2-1. OBTENCIÓN POR PRENSADA	6
FIGURA 2-2. OBTENCIÓN POR EXTRACCIÓN CON DISOLVENTES	7
FIGURA 2-3. OBTENCIÓN POR CENTRIFUGACIÓN	8
FIGURA 2-4. OBTENCIÓN POR HIDRÓLISIS ALCALINA	9
FIGURA 2-5. PROCESOS DE REFINACIÓN DE ACEITES Y GRASAS	15
FIGURA 3-1. VARIEDADES DE AGUACATE EN MÉXICO	17
FIGURA 3-2. MORFOLOGÍA Y TAXONOMÍA DEL AGUACATE	17
FIGURA 3-3. LARVA DE GUSANO BARRENADOR DE HUESO	19
FIGURA 3-4. AGUACATES CON DAÑO POR TRIPS	19
FIGURA 3-5. HOJA DE AGUACATE MALTRATADA POR ARAÑA DE CRISTAL	20
FIGURA 3-6. TRONCO INFESTADO DE TALADRADOR	20
FIGURA 3-7. HOJA DE AGUACATE INFESTADA DE ACARO	21
FIGURA 3-8. AGUACATE PERFORADO POR STENOMEME CATENIFER	21
FIGURA 3-9. PUDRICIÓN DE RAICES DE AGUACATE	22
FIGURA 3-10. MANCHA DEL AGUACATE	23
FIGURA 3-11. FRUTO INFESTADO DE ANTRACNOSIS	23
FIGURA 3-12. FRUTO DE AGUACATE CON ROÑA	24

FIGURA 3-13. CADENA PRODUCTORA DE AGUACATE	26
FIGURA 3-14. MÉXICO ES LÍDER MUNDIAL EN LA PRODUCCIÓN DE AGUACATE	27
FIGURA 3-14. MÉXICO ES LÍDER MUNDIAL EN LA PRODUCCIÓN DE AGUACATE	28
FIGURA 3-16. ETAPAS DE MADURACIÓN DEL AGUACATE	29
FIGURA 4-1. PROCESO GLOBAL DE EXTRACCIÓN DE ACEITE EXTRA VIRGEN DE AGUACATE	42
FIGURA 4-2. DIAGRAMA PARA LA SOLUCIÓN DEL PROBLEMA	43
FIGURA 4-3. CARACTERÍSTICAS DE LAS ETAPAS DEL PROCESO	45
FIGURA 4-4. CENTRIFUGA	52
FIGURA 5-1. DESINFECCIÓN DE AGUACATE	59
FIGURA 5-2. ÁREA DE SECADO DE LOS AGUACATES	60
FIGURA 5-3. EQUIPO UTILIZADO EN LA ETAPA DE EXTRUSIÓN	63
FIGURA 5-4. LIBERACIÓN DE GOTAS DE ACEITE EN LA PULPA DE AGUACATE CON AGITACIÓN CONTINUA	63
FIGURA 5-5. PASTA CALIENTE A DIFERENTES TEMPERATURAS	64
FIGURA 5-6. PASTA EXTRUIDA EN UN VIAL PARA SER CENTRIFUGADA	65
FIGURA 5-7. ACEITE EXTRAIDO A DIFERENTES TEMPERATURAS	66
FIGURA 5-8. EQUIPO DE LAVADO	69
FIGURA 5-9. EQUIPO DE SECADO	70

FIGURA 5-10. SELECCIÓN DE AGUACATES MADUROS	72
FIGURA 5-11. EQUIPO DE DESPULPADO	73
FIGURA 5-12. EQUIPO DE EVAPORACIÓN - EXTRUSIÓN	75
FIGURA 5-13. EXTRUSIÓN DE PULPA DE AGUACATE	76
FIGURA 5-14. EQUIPO DE CENTRIFUGACIÓN 1	77
FIGURA 5-15. EQUIPO DE CENTRIFUGACIÓN 2	79
FIGURA 5-16. TORTA DE SÓLIDOS RETENIDOS EN LA CANASTA	79
FIGURA 5-17. OBTENCIÓN DE ACEITE MEDIANTE CENTRIFUGACIÓN	80
FIGURA 5-18. DIAGRAMA PRIMERO DE OPERACIONES PROPUESTO PARA LA EXTRACCIÓN DE ACEITE EXTRA VIRGEN DE AGUACATE	84
FIGURA 5-19. DIAGRAMA FINAL DE OPERACIONES PROPUESTO PARA LA EXTRACCIÓN DE ACEITE EXTRA VIRGEN DE AGUACATE	86

1 INTRODUCCIÓN

En los últimos años las personas han ido incrementando el consumo de productos naturales debido a que la cultura de una alimentación sana y con ejercicio ha sido altamente promovido. México ocupa el primer lugar a nivel mundial en obesidad, el segundo lugar en diabetes infantil y las enfermedades cardiovasculares ocupan el segundo lugar nacional en causas de mortalidad. Todo esto debido a los malos hábitos alimenticios y la falta de alimentos con valor nutrimental en la dieta. El producto que se ofrece contiene un alto valor nutrimental el cual ayuda a la prevención de estas enfermedades.

El aguacate ha sido objeto de un intenso y variado uso en el pasado, no sólo como alimento sino con propósitos medicinales. En la actualidad se ha descubierto que el aguacate contiene un alto nivel de nutrientes que son utilizados por nuestro metabolismo como agentes antioxidantes, evitando así enfermedades como el Alzheimer, el cáncer y la diabetes; también se ha descubierto que disminuye los niveles de colesterol y triglicéridos, y por el alto contenido de luteína ayuda a proteger los daños del ojo tales como el desarrollo de cataratas, además reduce el riesgo de degeneración muscular. (Reyes, et al., 2014)

El estado de Michoacán es el estado con mayor producción y venta de aguacate a nivel nacional e internacional. Sin embargo, no se ha desarrollado una diversificación de los posibles productos que se pueden extraer del mismo, dadas sus propiedades nutrimentales. La producción de aceite de aguacate nace de varios años atrás, hoy en día existen aceites de aguacate en el mercado que exhiben la calidad de “extra virgen”, pero al analizar estas muestras en un laboratorio de alimentos certificado se puede constatar que ninguno cumple con dicha calidad.

Uno de los fracasos del pasado consiste en que el aceite se obtiene del aguacate caído, de desecho, cuando el aguacate ya tiene una baja calidad para el consumo directo y en el contenido de sus ácidos grasos no saturados, además de un alto contenido de agentes patógenos con nula atención a la inocuidad. Otro grave

problema que se observa es que al no existir una norma oficial mexicana para la producción de aceite de aguacate extra virgen, los productores no están obligados a garantizar la calidad del producto que obtienen.

El aceite de aguacate se ha comparado en la calidad nutricional con el aceite de oliva debido a su alto contenido de ácidos grasos monoinsaturados por esta causa los principios que utilizaremos serán similares a los de la obtención del aceite de oliva extra virgen que cuenta con normas para usar esta denominación.

En el mesocarpio de aguacate se encuentran células especializadas llamadas idioblastos, que en muchas plantas dicotiledóneas almacenan aceites, grasas, lípidos, terpenos, agliconas, flavonoides, sesquiterpenlactonas y acetogeninas (Platt, 1992). Los ácidos grasos contenidos en el aguacate son causantes del sabor y la textura que distingue y exigen los consumidores en esta fruta.

Debido a las propiedades benéficas para la salud que contiene el aguacate y están intrínsecas en su aceite, este es un producto con valor agregado con gran importancia para la industria de cosmética y para el consumo humano. Aprovechando además las características económicas del aguacate y la capacidad de producción que tiene el estado de Michoacán.

1.1 JUSTIFICACIÓN

La variación de los precios de venta del aguacate fresco y las limitadas alternativas en el procesamiento, han provocado que no se aproveche cabalmente este producto, donde México es líder mundial en la producción y el estado de Michoacán contribuye con un porcentaje de 85.9%. (Economía, 2015)

Otro aspecto importante de citar es que las distintas marcas de aceite de aguacate comercial, confunden al consumidor ya que ninguna planta industrial procesa aguacate de calidad para la extracción de aceite extra virgen, además de utilizar tratamientos químicos y trabajan a temperaturas superiores a los 190°C, temperatura

en la cual se destruye la mayoría de los ácidos grasos insaturados que contiene el aguacate, por lo que el aceite comercial tiene altos contenidos de ácido esteárico, dañino a la salud. Actualmente el proceso industrial para la obtención de aceite de aguacate “extra virgen” es el siguiente:

1. Recepción de fruta (No realizan análisis de materia seca).
2. Molienda de aguacate completo (Cáscara, hueso, pulpa).
3. Extrusión a 90°C durante 2 o 3 horas.
4. Centrifugado, para tener como resultado separación de sólidos y una mezcla de aceites-agua.
5. Decantación para separar aceites y agua.
6. Deodorización a través de calizas, para quitar el olor de los componentes que provienen del hueso y de la cáscara.
7. Proceso químico, para separar los ácidos grasos no deseables.
8. Refinación (para mejorar el color, la densidad, la turbidez y la apariencia). Se calienta durante 2 horas a temperaturas del orden de los 190°C.

Como resultado de los trabajos de investigación de la UMSNH, en los años 2011, 2012 y 2013, a través de la determinación del perfil de lípidos mediante cromatografía de gases a los aceites comerciales disponibles obtenidos mediante este proceso, se comprobó que el aceite tiene una fracción importante de ácido esteárico (del orden del 10%), el cual es altamente dañino para la salud humana y es el resultado de la transformación de aceites luego del proceso de refinación.

Este nuevo diseño del proceso, es mucho más compacto, sin tratamiento químico y sin un tratamiento físico agresivo. El aguacate utilizado será de calidad, cumpliendo con la certificación de los Sistemas de Reducción de Riesgos de Contaminación (SRRC) de la SAGARPA y la certificación Global GAP, limitado por los requerimientos de tamaño y algunos daños físicos para comenzar su exportación, por lo que será un producto “Extra Virgen” con alto valor nutrimental para consumo.

1.2 HIPÓTESIS

El diseño del proceso propuesto sin tratamientos químicos y a temperaturas menores de 100°C permitirá obtener aceite de aguacate de calidad extra virgen, que cumpla con las normas de inocuidad y evite la degradación de ácidos grasos insaturados para así obtener un aceite con valor altamente nutrimental para el consumo directo.

1.3 OBJETIVO GENERAL

El objetivo general es diseñar un nuevo proceso de obtención de aceite extra virgen de aguacate, manteniendo las propiedades nutrimentales en el producto final.

1.3.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar las condiciones termoquímicas favorables para evitar la degradación del aceite realizando pruebas experimentales adecuadas a partir de un diseño de experimentos.
- Obtener un producto de calidad usando menos energía y disminuyendo el costo de producción en relación con los procesos que se utilizan en la actualidad.
- Evaluar las mejores condiciones de extracción del aceite a través de pruebas a nivel laboratorio, de acuerdo a las variables establecidas para el diseño de una planta piloto.
- Caracterizar el producto mediante técnicas analíticas modernas para determinar la cantidad de ácidos grasos insaturados y ausencia de agentes patógenos para así cumplir con las normas de inocuidad, y para el consumo humano.

2 ANTECEDENTES

El aceite es un componente muy importante del aguacate, pues constituye una parte significativa de la sustancia seca de la carne (mesocarpio) y son responsables del sabor y de la textura gustativa que los consumidores exigen en esta fruta. Algunos autores han puesto de manifiesto la excelencia del aceite de aguacate en su aplicación cosmética, dermatológica y terapéutica (P., 1970) (Daniel, 1979).

La extracción del aceite del aguacate se ha realizado desde hace muchas décadas, sin embargo, para elaborar aceite de aguacate y caracterizar las propiedades fisicoquímicas del mismo a partir de la pulpa existen pocas referencias bibliográficas. El uso predominante del aceite hasta la actualidad, ha sido cosmético, dada su alta estabilidad y contenido en vitamina E (Requejo, et al., 2003). Para el uso cosmético, la extracción química, o a temperatura alta, es aceptable debido a que por éste método de extracción se obtienen rendimientos en el orden de 95% respecto al contenido total graso, por tal motivo ha sido el método clásico de extracción comercial. (Azadmard-Damirchi, et al., 2010)

En México, la producción de aceite de aguacate ha presentado un aumento lento en respuesta a una demanda centrada en el mercado de la producción farmacéutica, de cosméticos y nutracéuticos, pero con un incremento en la industria alimenticia y como aceite para cocinar (ANIAME, 2002).

Se encuentra abundante bibliografía en la extracción de aceite de aguacate a escala de laboratorio, generalmente por uso de disolventes (Gómez, 1982) (Alter, 1982) (Lewis, 1978) (Martínez Nieto, 1988) pero son pocas las referencias a otros procedimientos de extracción que se hayan llevado a escala industrial.

Los siguientes procesos para la obtención del aceite de aguacate son (L. Martinez Nieto, 1988):

1. Obtención por prensada.

Antes de someter a tratamiento de prensado el aguacate fue pelado y extraído el hueso, se obtiene una pulpa, exenta de cualquier partícula sólida del hueso presentando una consistencia poco viscosa por lo que al someterla a presión escapa lateralmente y es muy difícil obtener el aceite que contiene.

Similar al proceso de prensada de pasta de aceituna, se muelen los aguacates con el hueso y la cáscara. Se bate esta mezcla para homogeneizar y posteriormente pasa al sistema de presión.

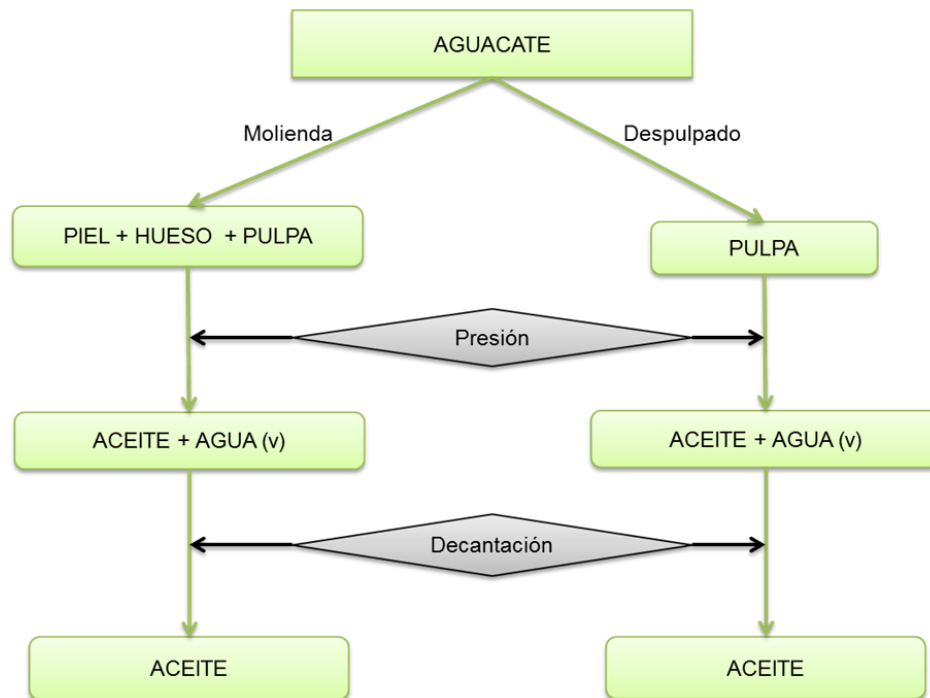


FIGURA 2-1. OBTENCIÓN POR PRENSADA

2. Obtención por extracción con disolventes.

Este método es el más empleado y los disolventes más utilizados son el éter de petróleo, el hexano y la mezcla de cloroformo-metanol. Se hacen trozos de aguacate en

forma de láminas y se secan en una estufa de vacío durante 4 horas a 60°C y 20 mm de Hg. El extracto se somete a evaporación para eliminar el disolvente y el aceite obtenido se seca en estufa de vacío.

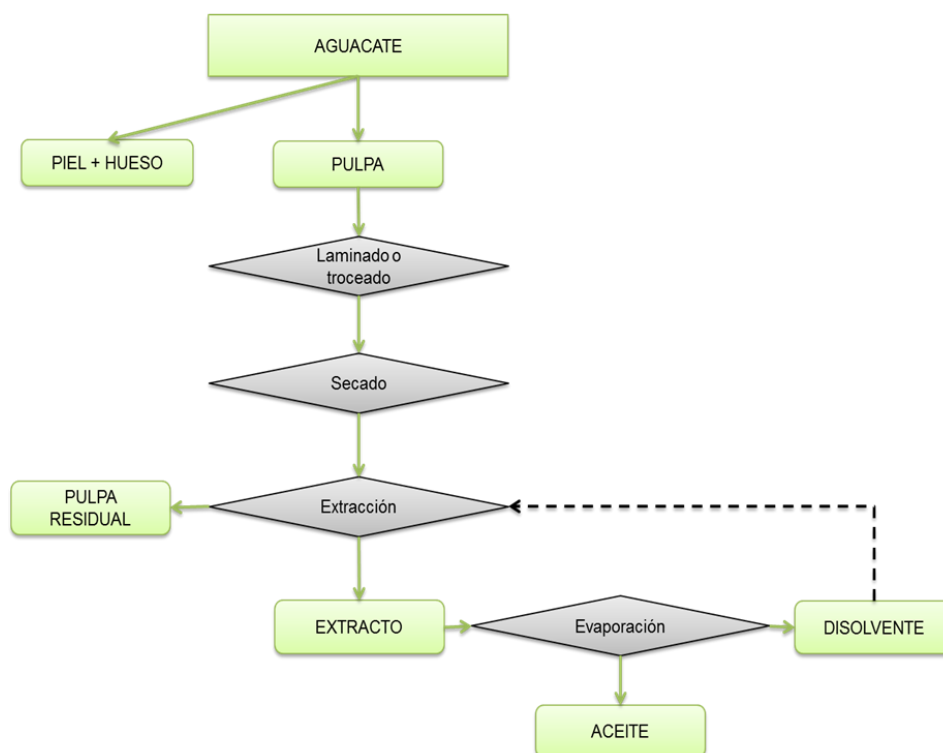


FIGURA 2-2. OBTENCIÓN POR EXTRACCIÓN CON DISOLVENTES

3. Obtención por centrifugación.

El aguacate, exento de piel y hueso se muele hasta tener una pulpa homogénea. Se calienta en baño de agua con agitación a 60°C y se centrifuga, decantándose posteriormente el aceite liberado. Este aceite va acompañado de agua de vegetación, que se elimina por decantación y posteriormente se seca en estufa de vacío.

La fracción sólida resultante de la centrifugación se somete, previo secado, a extracción con hexano en un Soxhlet, determinando de esta manera el porcentaje de aceite que no ha podido ser obtenido por centrifugación.

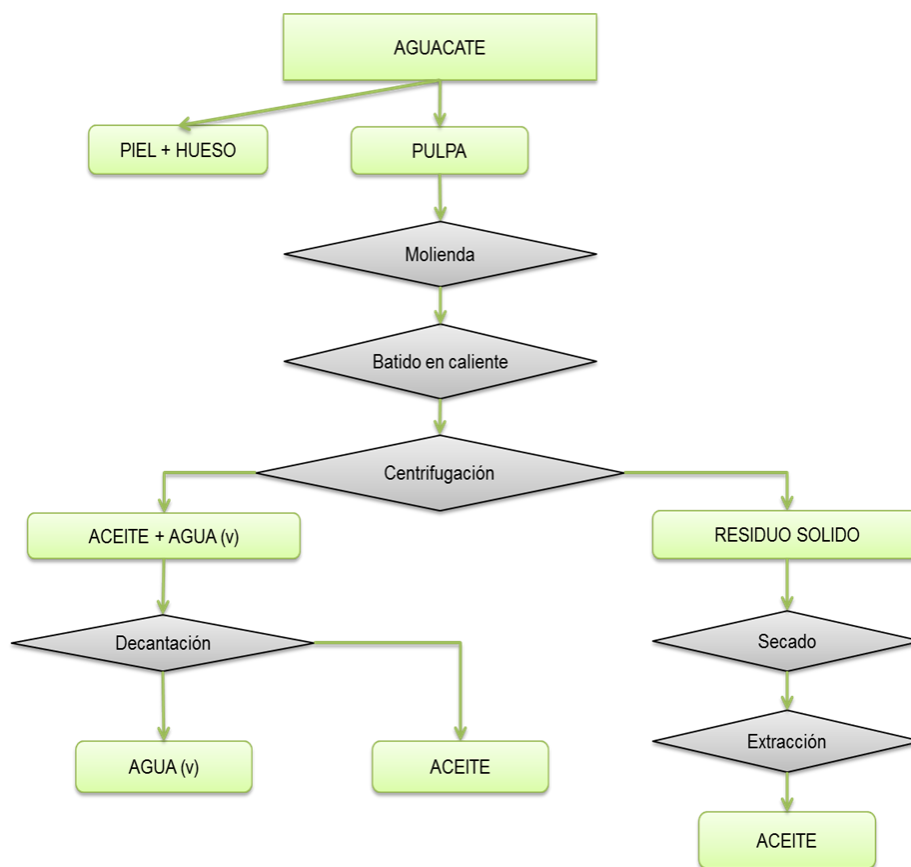


FIGURA 2-3. OBTENCIÓN POR CENTRIFUGACIÓN

4. Obtención por hidrólisis alcalina.

Se determina una humedad media de una serie de muestras de pulpa. Una vez exento el aguacate de piel y hueso, se muele y se ajusta el contenido de agua de la muestra de forma que la relación pulpa seca/agua sea 1:6. Posteriormente se lleva a pH alcalino agregando NaOH y se mantiene durante media hora en un baño de agua a 60°C con agitación. Se centrifuga, obteniéndose una fracción sólida y una líquida, que se decanta y que contiene el agua de vegetación, junto con la añadida y el aceite. Se somete a decantación separándose el aceite, que se seca, de la fracción acuosa. Esta se lleva con ácido fosfórico, manteniéndola en baño de agua con agitación a 60°C durante media hora, obteniéndose un precipitado que contiene alguna de las proteínas del fruto.

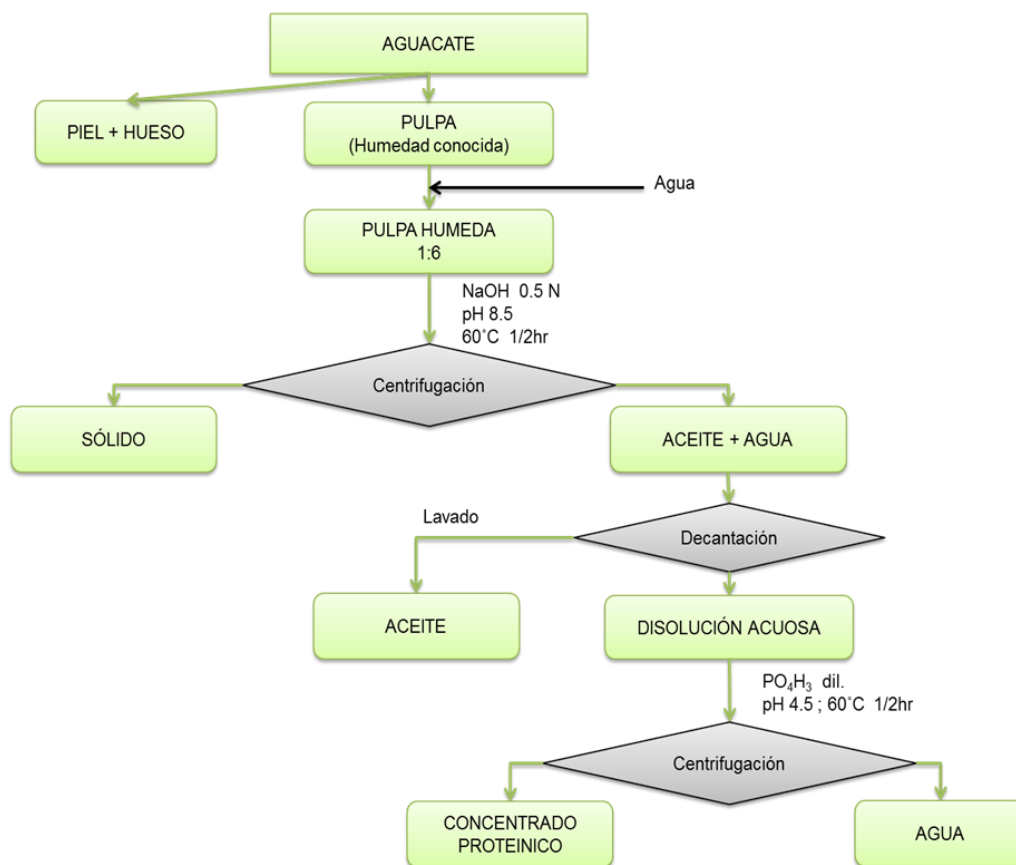


FIGURA 2-4. OBTENCIÓN POR HIDRÓLISIS ALCALINA

En abril de 1984, R. H. Davis de Paino Avocado Company Inc. Temecula, California U. S. A. obtuvo la patente 4444763 referente a un método de extracción de aceite de aguacate basado en la maceración de la fruta madura, calentamiento por convección, adición de material herbáceo con alto contenido de sílice y extracción con presión. El remanente en la torta es extraído con disolventes. Posteriormente el aceite se refina mediante filtración y un filtro ayuda. (Davis, 1984)

En diciembre de 1985, M. Curiel y P. Neve-Oz de Israel obtienen la patente U.S. titulada "Process for the recovery of oil from avocado fruit". El método está basado en poner en contacto la fruta en trozos con una solución de acetona la cual extrae el agua del aguacate. La pasta deshidratada es subsecuentemente puesta en contacto con una

solución de acetona conteniendo arriba de 5% de agua mediante la cual es extraído el aceite del aguacate. Por medio de destilación son separados la acetona, el aguacate y el agua. La pasta residual es utilizada como alimentación animal. (Curiel & Neve-Oz, 1985)

En febrero de 1987, J. Werman y I. Neeman del Israel Institute of Technology, proponen un método de extracción de aceite de aguacate a nivel de laboratorio, basado en la utilización de disolventes y soluciones salinas que consiste en mezclar 25 gramos de pulpa de aguacate con 75 gramos de agua, ajustando el pH a 5.5, añadiendo cloruro de sodio a una concentración del 5% y calentando la mezcla a 75°C. Después de 30 minutos la mezcla se centrifuga a 6000g. El sobrenadante se transfiere a un embudo donde se añade éter de petróleo. La fase de aceite disuelta se seca con sulfato de sodio anhidro y en un horno con vacío a 600°C durante toda la noche. (J. Werman, 1987)

En marzo de 2001, se presentó en el Congreso Iberoamericano de Ingeniería de Alimentos, en Valencia España, la comparación de varios métodos para la obtención de aceite de aguacate empleando microondas. Planteando como método novedoso el uso de las microondas para romper las membranas de los idioblastos, liberando el aceite cuyas características fisicoquímicas fueron las mejores cuando se compararon con los aceites obtenidos por los otros métodos. (Dorantes & Ortiz, 2001)

En noviembre de 2001, Jean-Pierre Martel y Olivier Farcot, propusieron la patente EP 1 211 303 A1: "Method and apparatus for the integrated upgrading of oil-bearing drupes, especially olives and the products resulting therefrom". La invención es preferentemente aplicada en olivo y fue publicada el 7 de junio de 2002. El proceso consiste en un calentamiento del fruto entero incluyendo semilla y cascara; en una cámara de microondas, seguido por una cámara de acondicionamiento y una cámara de evaporación con un sistema de separación física de una parte de la pulpa. La pulpa separada pasa entonces a separadores de aceite y recuperadores. Otros sistemas separan las semillas y las cascara y obtienen el aceite de estos por prensado. (Martel & Farcot, 2002)

El 23 de abril de 2002, se registra una patente y se publica el 27 de noviembre de 2002: EP 1260571 B1, de Westfalia Separator Industry, que propone un método para la extracción de aceite de frutas y semillas, que consiste en someter a las aceitunas o al aguacate a altas presiones seguido de una despresurización. La fruta y el fluido resultante se pasa a una centrifuga de tomillo, obteniéndose una fase que contiene el aceite y otra con orujo que es una mezcla de sólidos y agua. (Geissen, et al., 2005)

En el 2003 el Centro de Investigación Mt. Albert y el Instituto de Alimentos, Nutrición y Salud de Nueva Zelanda realizó una investigación titulada: Aceite de aguacate por presión en frío – una novedad saludable. Cuyo fin es hacer énfasis en los aceites que son el componente más importante del aguacate, pues constituyen una parte significativa de la sustancia seca de la carne (mesocarpio) y son responsables del sabor y de la textura gustativa que los consumidores exigen en esta fruta. (Requejo, et al., 2003)

Algunas investigaciones mencionan a la extracción en frío (sin elevar la temperatura a más de 50°C) como un método atractivo para la obtención de aceite de aguacate. Utilizando este método, el aceite extraído contiene una amplia gama de compuestos con conocidos beneficios para la salud (A.M. Restrepo, 2012).

2.1 HISTORIA DEL PROCESO SIMILAR

El aceite de aguacate, al igual que el aceite de oliva, está muy de moda. Ambos mercados crecen y la extracción de aceite de aguacate se puede comparar con la extracción de aceite de oliva. Existe norma para las especificaciones mínimas de calidad que debe cumplir el aceite de aguacate, sin embargo no cuenta con una denominación de origen a manera de aceite extra virgen de aguacate como lo hay para el de oliva.

El aceite de oliva extra virgen es la máxima expresión de la calidad que puede obtener un aceite de oliva. Primeramente para ser etiquetado como “Virgen” su proceso

de extracción debió ser realizado solamente mediante procesos mecánicos o procesos físicos que no alteren la composición y características, además de etiquetarse como “Extra” si se adecua a los parámetros de acidez, nivel de peróxidos y otra serie de parámetros químicos al mismo tiempo de superar un panel de cata de Aceite sin observarle defectos con una puntuación mínima establecida.

La producción de Aceite de Oliva consiste en la extracción del aceite del fruto por procedimientos mecánicos lo menos agresivos posible para conservar al máximo las propiedades y características del zumo de aceitunas obtenido.

La industrialización de la extracción del Aceite de Oliva comenzó aplicándose a los métodos tradicionales con prensas hidráulicas, sistemas de molturación por martillos, la aparición de cintas transportadoras, tolvas, etc. Toda esta mecanización culminó en el sistema de extracción continuo de Aceite de Oliva que no requiere la preparación manual de cargos de capachos para el prensado y que separa el aceite de la parte sólida y acuosa por centrifugación en lugar de por prensado-filtrado.

Ahora llamado sistema continuo de producción, introduce nuevos elementos en el proceso de extracción del aceite como el termobatido, la centrífuga horizontal o decanter y la centrífuga vertical.

Aunque altamente mecanizado y automatizado la producción moderna de aceite de oliva se basa en los mismos principios que la tradicional: romper la aceituna para liberar el aceite contenido en el fruto, separar el aceite de la parte sólida y del agua de vegetación.

2.2 ANÁLISIS COMPARATIVO

Con el objetivo de conseguir un aceite virgen primeramente los procedimientos deberán ser mecánicos o físicos en condiciones especialmente térmicas, que no produzcan alteración del aceite, que no hayan tenido más tratamiento que el lavado, la decantación, la centrifugación y el filtrado. A continuación se muestra una tabla

comparando el proceso que se lleva a cabo industrialmente y la patente mexicana para la obtención de aceite de aguacate.

TABLA 2-1. COMPARACIÓN DE DIFERENTES PROCESOS DE OBTENCIÓN DE ACEITE DE AGUACATE

PROCESO		
INDUSTRIAL	PATENTE	PROPUESTO
1) Recepción de fruto	1) Recepción de fruta	1) Recepción de fruta
2) Limpieza del fruto	2) Sanitizado	2) Lavado y secado
3) Molienda (molino de martillos)	3) Desmondado	3) Almacenamiento
4) Mezclado y calentamiento indirecto	4) Tratamiento con microondas	4) Despulpado
5) Adición de agua caliente	5) Expresión	5) Calentamiento
6) Machacado	6) Almacenamiento	6) Centrifugado
7) Separación/decantación	7) Centrifugado	7) Almacenamiento
8) Filtración de fase aceite		
9) Clarificación de fase acuosa y separación de aceite		
10) Mezclado de aceite		
11) Refinado		

Con el objetivo de conseguir un aceite virgen primeramente los procedimientos deberán ser mecánicos o físicos en condiciones especialmente térmicas, que no produzcan alteración del aceite, que no hayan tenido más tratamiento que el lavado, la decantación, la centrifugación y el filtrado.

2.3 PROCESO EN MÉXICO

La industria extractora de aceite de aguacate generalmente utiliza los aguacates que no cumplen con las características de presentación para el mercado de fresco, esencialmente aguacate de desecho. Lo que se obtiene primeramente es un aceite crudo de aguacate el cual es llevado a un proceso de refinación para considerarlo como comestible de acuerdo a la norma NMX-F-052-SCFI-2007.

El objetivo principal de la refinación de aceites y grasas es hacerlos idóneos para el consumo humano, al eliminarle todas las sustancias que tienen un resultado negativo en sabor, color, aroma, apariencia y estabilidad. Hay dos métodos de refinación en las plantas de refinería de aceite vegetal, el refinado físico y el refinado químico.

La refinación física significa la eliminación de las gomas en el aceite durante el proceso de desgomado con un método especial y la eliminación de ácidos libres grasos en el proceso de deodorización por destilación.

La refinación química implica la eliminación de ácidos libres grasos de forma química (ácido-base de neutralización). Las gomas y el jabón producido se separan en centrifugadoras.

La refinación química es más agresiva (neutralización con sosa caustica) y es utilizada cuando la exigencia de calidad del aceite resultante es menor, aunque el resultado es más consistente y estable. La refinación física es más respetuosa con el medioambiente y adecuado para aceites de alta acidez y bajo contenido en gomas, genera productos de mejor calidad y desperdicia menos aceite en el proceso. (Mataix, et al., 2009)

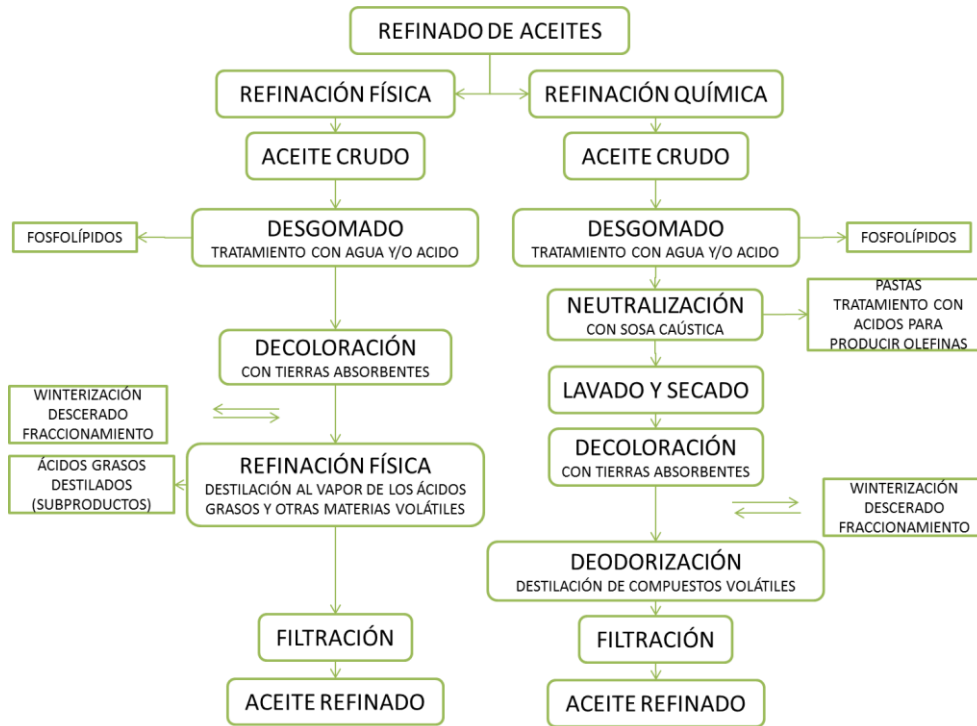


FIGURA 2-5. PROCESOS DE REFINACIÓN DE ACEITES Y GRASAS

3 MARCO TEÓRICO

3.1 HISTORIA DEL ORIGEN DEL AGUACATE

El aguacate, originario de América, representó para los pueblos indígenas desde tiempos remotos, un fruto placentero muy apreciado con propiedades extraordinarias. A mediados de los años ochenta algunos países productores (México, Indonesia, Brasil, Estados Unidos, Chile, España, Sudáfrica e Israel), empezaron a consignar hectáreas para el cultivo de aguacate orgánico con el objetivo de satisfacer la demanda mundial. La finalidad de este sistema de producción es operar de manera sostenible la huerta, evitando el uso de agroquímicos que inducen 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, además se produce aguacate orgánico desde mediados de los años noventa. En 1996 se certifica la primera huerta y en 1998 se certifican otras ocho huertas, las cuales sumaban 304 hectáreas de aguacate orgánico.

3.2 CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL AGUACATE

El aguacate es un árbol procedente de Mesoamérica, su origen tuvo lugar en el centro de México y en algunas partes altas de Guatemala, donde ya se cultivaba con anterioridad a la llegada de los españoles. El nombre del aguacate proviene del náhuatl (*Ahuacatl*), palabra que significa “testículos del árbol”. Su nombre científico es *Persea Americana* y proviene de la familia laurácea.

El aguacate es considerado un producto perenne debido a que se cultiva durante todo el año. El fruto es una drupa, en forma de pera, de color verde claro a verde oscuro y de violeta a negro, cáscara rugosa con una pulpa verde amarillenta y un hueso central muy grande. Existen aproximadamente unas 400 variedades, por lo que

podemos encontrar frutos de formas y pesos diferentes, que pueden llegar a pesar de 90 a 450 gr.

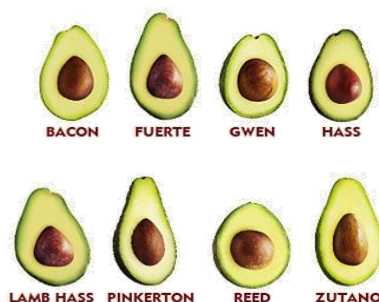


FIGURA 3-1. VARIEDADES DE AGUACATE EN MÉXICO

3.2.1 MORFOLOGÍA Y TAXONOMÍA DEL AGUACATE

El fruto del aguacate es una baya que posee un endocarpio delgado y un mesocarpio carnoso y oleaginoso, rodeado del epicarpio que puede ser de textura lisa o rugosa, se sostiene a la rama por su pedúnculo, que sobresale del fruto. Según la variedad el aguacate posee tamaño, formas y colores diferentes, predominando las formas: ovalada, cónica, ovoide, redonda y periforme. El color que domina en esta fruta es el verde en diferentes tonalidades tales como brillante claro, oscuro y amarillento. En su cavidad central contiene una semilla de forma variada, predominando la redonda y la cónica; su color se caracteriza por presentar diferentes tonalidades entre café y negro.

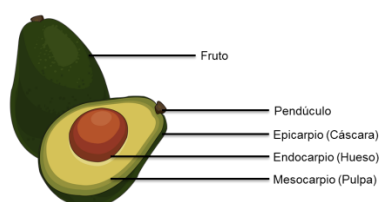


FIGURA 3-2. MORFOLOGÍA Y TAXONOMÍA DEL AGUACATE

3.2.2 RAZAS DEL AGUACATE

Según las características físicas del aguacate, se han identificado tres razas de acuerdo a su lugar de origen:

Raza mexicana: provienen de la zona central de México, son árboles altos que se adaptan fácilmente al clima frío (hasta 2800 msnm.) pero la altura óptima es 1000 y 1500m. Sus frutos maduran 9 meses después de la floración, de color verde claro y con un peso entre 90 y 450 gramos.

Raza guatemalteca: proviene de las tierras altas de Guatemala, árbol de gran tamaño los cuales están adaptados a clima medio (700 y 1500 msnm). Sus frutos maduran 10 meses después de la florecencia. El tamaño del fruto es relativamente grande (125 a 2500 gramos) y posee un color verde opaco.

Raza antillana: se cree que es originario de la Sierra Nevada de Santa Marta por lo que es la más común en nuestro país. Estas plantas son cultivadas desde el nivel del mar hasta una altura de 1200 msnm. Sus frutos maduran entre 5 a 8 meses después de la florecencia de color verde claro a amarillo rojizo y de peso entre 250 y 2500 gramos.

3.2.3 PLAGAS DEL AGUACATE

La Subsecretaría de Fomento a los Agronegocios elabora y presenta en la Monografía del Aguacate la información acerca de las plagas del aguacate (Anon., 2011).

Gusano barrenador de hueso (*Heilipus lauris* Boheman): La hembra deposita sus huevecillos bajo la epidermis del fruto en desarrollo, la larva se introduce en la pulpa hasta llegar al hueso. El daño principal lo ocasiona al alimentarse del hueso, provocando la caída prematura del fruto, lo que puede provocar la pérdida total en la producción.



FIGURA 3-3. LARVA DE GUSANO BARRENADOR DE HUESO

Trip del aguacate (*Heliethrips haemorrhoidalis*): Ocasiona daños en frutos y flores, ocasionando alteraciones en el aguacate; inhibe la fecundación de flores al lesionar los órganos sexuales; origina la caída de las mismas y deteriora mucho a los frutos recién formados por la aparición de alteraciones irregulares en la cáscara.



FIGURA 3-4. AGUACATES CON DAÑO POR TRIPS

Araña de cristal (*Oligonychus*): Esta plaga se presenta en época seca, los adultos succionan los jugos de las hojas, produciendo manchas amarillentas en las mismas. En casos severos, los árboles se debilitan y tiran sus hojas.



FIGURA 3-5. HOJA DE AGUACATE MALTRATADA POR ARAÑA DE CRISTAL

Taladrador del tronco (*Copturomimus perseae* gunther): Esta plaga come la madera de troncos, ramas y nuevos brotes, ocasionando regularmente que las ramas se corten por el peso de la fruta. Las zonas dañadas son fáciles de detectar por la presencia de aserrín en polvo.



FIGURA 3-6. TRONCO INFESTADO DE TALADRADOR

Acaro de las agallas (*Eriophyes*): Su ataque provoca la detención del desarrollo del fruto, produce daños severos formando protuberancias (agallas) en las hojas.



FIGURA 3-7. HOJA DE AGUACATE INFESTADA DE ACARO

Perforador del fruto (*Stenomema catenifer*): Los huevecillos son depositados sobre los frutos o las ramas tiernas, en su etapa de desarrollo penetra la cascara y la fruta. Los desechos de larvas dentro del fruto provocan su pudrición.



FIGURA 3-8. AGUACATE PERFORADO POR STENOMEME CATENIFER

Gusano arrollador de la hoja (*Platynota*): Es una larva color verde claro, que al raspar la epidermis de las hojas las adhiere provocando su marchitamiento.

3.2.4 ENFERMEDADES MÁS COMUNES

Pudrición de la raíz (también conocida como tristeza del aguacatero): La pudrición de raíces es la enfermedad más importante del aguacate, es causada principalmente por el hongo *Phytophthora cinamomni*, aunque el hongo causante ataca la base del tallo y lo coloniza totalmente, evita la absorción de agua y su transporte al follaje, produce marchitez, secamiento y muerte repentina del árbol.



FIGURA 3-9. PUDRICIÓN DE RAICES DE AGUACATE

Mancha negra o cercospora: Es ocasionada por el hongo *Cercospora purpurea* Cooke, la alta precipitación y la mala nutrición de las plantaciones aumenta su severidad. Esta enfermedad ataca a las hojas y produce lesiones pequeñas color marrón oscuro, provocando la caída de todo el fruto del árbol. En poscosecha, ocasiona la llamada mancha negra en el fruto.



FIGURA 3-10. MANCHA DEL AGUACATE

Polvillo o Mildiu *Oidium* sp: Esta enfermedad se manifiesta con la aparición de polvillo blanco sobre los retoños, frutos y hojas, causando su caída. Además, las hojas afectadas se deforman y posteriormente aparecen en ellas manchas irregulares color negro. Este hongo requiere de poca humedad relativa para desarrollarse.

Antracnosis: Enfermedad causada por *Colletotrichum Gloeosporioides*, penetra en las lesiones ocasionadas por otros hongos, se desarrolla antes de la cosecha y se manifiesta en poscosecha, atacando a los frutos cuando casi están para cosechar. Inicialmente se manifiesta con manchas redondas color marrón, paralelamente, el hongo produce una pudrición en la pulpa de fruto, que ocasiona un sabor desagradable y avanza hasta colonizar el hueso.



FIGURA 3-11. FRUTO INFESTADO DE ANTRACNOSIS

Cancro del aguacate (*Phytophthora bohemeriae* Sawad): Se encuentra en la base del tronco hasta la altura de un metro, su importancia radica en la velocidad de desarrollo y capacidad de daño alrededor del tronco. Reduce el vigor del árbol con producción de frutos pequeños y de mala calidad.

Fusariosis: Ataca directamente la raíz del árbol en cualquier estado de desarrollo, provocando pudrición y secamiento en las hojas. Es importante destruir los troncos viejos y quemarlos para eliminar la enfermedad.

Roña: El hongo *Sphaceloma perseae* afecta a las hojas, principalmente las nuevas, y daña a los frutos, deteriorando su calidad estética. En el fruto son lesiones irregulares color marrón de apariencia corchosa, estas lesiones son superficiales y no afectan la pulpa. En ataques severos, los brotes y las hojas se necrosan, se enrollan hacia arriba y pueden llegar a morir.



FIGURA 3-12. FRUTO DE AGUACATE CON ROÑA

3.2.5 USOS

El aguacate se ha distinguido por sus diferentes usos: medicinales utilizando hojas, cáscaras, semillas y corteza, extracción de aceites, el cual se le compara con el aceite de oliva; también se utiliza como materia prima en la producción de shampoo y cosméticos como cremas, aceites y películas protectoras y limpiadoras de la piel.

Pero, la primordial forma de utilización del aguacate es el consumo de la fruta en fresco o pulpa procesada en forma de guacamole. Considerándose favorable para la

dieta del ser humano por su alto valor proteínico contenido en esta fruta y lo más importante es que no contiene colesterol.

3.3 PRODUCCIÓN Y COMERCIALIZACIÓN DEL AGUACATE

La cadena productora de aguacate comprende de tres fases hasta llegar al consumidor final: fase primaria, fase industrialización y fase de comercialización (SFA, 2011).

Fase primaria. Esta fase comienza en la plantación del fruto ya sea plantando directamente la semilla al terreno o por medio del injerto que se realiza en los viveros. Días antes de alcanzada la madurez el aguacate es recolectado para su venta, siguiendo una etapa de selección, calificándolo para su exportación aplicando los criterios de calidad y tamaño. Inicia un proceso de pre-enfriamiento del fruto para disminuir su temperatura, después se lava con agua y una solución fungicida para evitar cualquier tipo de microorganismo perjudicial a la salud y terminando con un secado y cepillado para adquirir una apariencia lúcida. Se almacena a una atmósfera y temperatura controlada para conservar su calidad y estado.

Fase industrial. Los productos industrializados tienen mayor vida útil y pueden almacenarse por un tiempo extenso, sin necesidad de mayores cuidados, como el producto en fresco. La industrialización del aguacate tiene dos principales subproductos: el aceite de aguacate y el guacamole.

El aceite crudo de aguacate contiene alrededor de un 80-85% de ácidos grasos insaturados con lo que se ha llegado a comparar en la calidad nutricional con el aceite de oliva. Este aceite se utiliza en distintas áreas como lo son la industria cosmética, la industria alimentaria y en la industria farmacéutica.

La conservación de la pulpa como guacamole se basa en un tratamiento que incluye la adición de antioxidantes y conservantes, adicionando las especias para su

degustación en diferentes proporciones, sin embargo su calidad comienza a decrecer después de tres meses en almacenamiento.

Fase comercialización. En esta fase es necesario identificar los requerimientos del mercado, la cantidad de producto por empaque en peso, la resistencia mecánica que el empaque debe resistir a lo largo del transporte, almacenamiento, comercialización de la fruta bajo las condiciones de enfriamiento y humedad relativa, así como el costo y disponibilidad en el mercado.

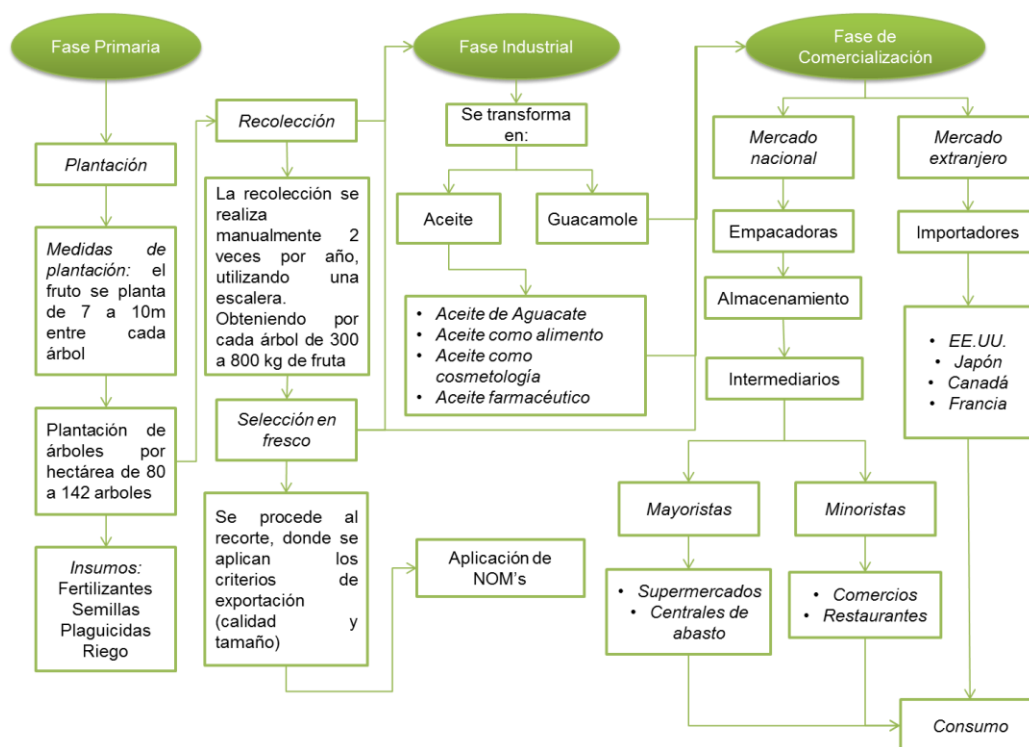


FIGURA 3-13. CADENA PRODUCTORA DE AGUACATE

3.3.1 EL AGUACATE COMO PRODUCTO

La SAGARPA, establece que es de interés público preservar la salud pública, así como mantener un nivel competitivo y de calidad en los productos agrícolas de México, estableciendo medidas con las que dé mayor certeza a la inocuidad de los alimentos; como parte de estas acciones se regula la presencia de residuos y contaminantes, tales

como aditivos, promotores de crecimiento, medicamentos veterinarios, plaguicidas, entre los principales. (Olaeta, 2003)

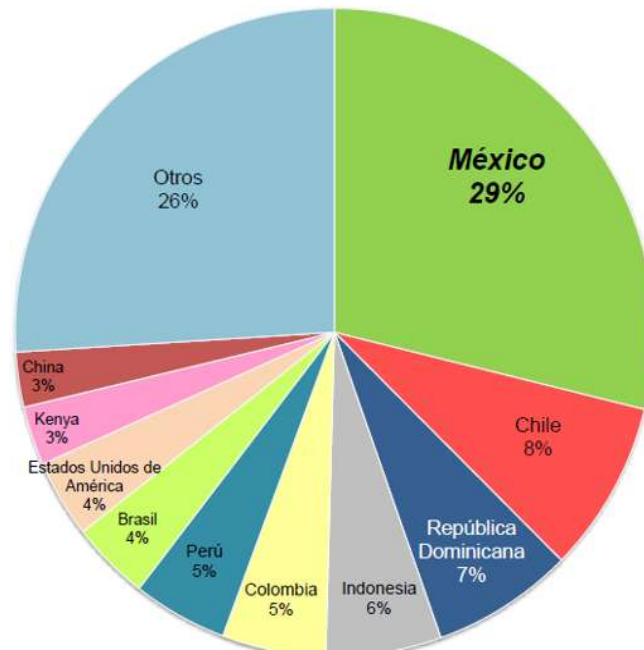


FIGURA 3-14. MÉXICO ES LÍDER MUNDIAL EN LA PRODUCCIÓN DE AGUACATE

La producción de aguacate en el estado de Michoacán durante el periodo 2009-2010 alcanzó niveles cercanos a las 344,000 toneladas que en su mayoría se destinan en fresco al mercado exterior y al consumo interno (Economía, 2012). La superficie destinada al cultivo aumenta año tras año, sin embargo no se incrementa de la misma manera la demanda para el consumo por lo que cabe esperar a corto plazo un excedente importante. Si a este excedente se le une la fruta rechazada en los canales de exportación así como la fruta caída del árbol, pueden resultar cantidades apreciables a la que es necesario buscarle una aplicación.

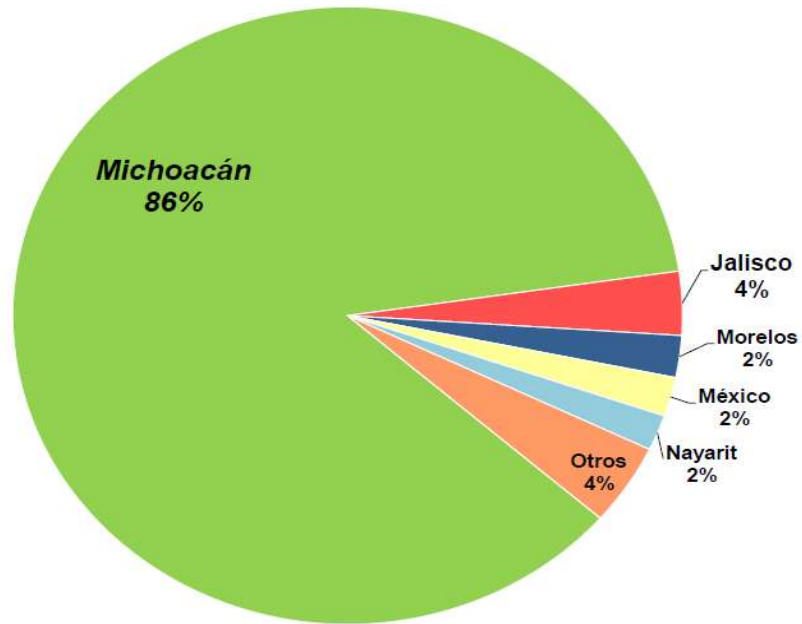


FIGURA 3-15. MICHOACÁN ES LÍDER NACIONAL EN LA PRODUCCIÓN DE AGUACATE

3.3.2 NORMAS OFICIALES MEXICANAS Y NORMAS MEXICANAS APLICADAS AL AGUACATE

Procedente de la apertura comercial y los tratados de libre comercio, el gobierno y las empresas que deseaban exportar aguacate crearon la NOM de información comercial-etiquetado para productos agrícolas-aguacate que se plasmó en los envases. Fue el 14 de septiembre de 1998 cuando entró en vigor la NOM-128-SCFI-1998.

Posteriormente se elaboró la NMX-FF-016-2002 productos frescos no industrializados para uso humano, fruta fresca – aguacate. Se elaboró con el objetivo de establecer las especificaciones de calidad que debe cumplir el aguacate en su variedad Hass. Participaron diversos organismos, dependencias e instituciones en su elaboración.

Con el objetivo de eliminar plagas en la producción de aguacate se creó la NOM-066-FITO-2002, que tiene por objetivo el manejo fitosanitario y movilización del fruto y controlar el barrenador de hueso.



FIGURA 3-16. ETAPAS DE MADURACIÓN DEL AGUACATE

3.3.3 INDUSTRIALIZACIÓN DEL ACEITE DE AGUACATE

El aceite es un componente muy importante del aguacate, pues constituye una parte significativa de la sustancia seca de la carne (mesocarpio) y son responsables del sabor y de la textura gustativa que los consumidores exigen en esta fruta. Algunos autores han puesto de manifiesto la excelencia del aceite de aguacate en su aplicación cosmética, dermatológica y terapéutica (P., 1970) (Daniel, 1979). La extracción del aceite del aguacate se ha realizado desde hace muchas décadas. Sin embargo, el uso predominante del aceite hasta la actualidad, ha sido cosmético, dada su alta estabilidad y contenido en vitamina E. Para el uso cosmético, la extracción química, o a temperatura alta, es aceptable debido a que por éste método de extracción se obtienen rendimientos en el orden de 95% respecto del contenido total graso, por tal motivo ha sido el método clásico de extracción comercial; sin embargo para el uso del aceite grado alimenticio, no es posible el uso de solventes químicos para extracción debido a que éstos generan serios efectos adversos sobre la salud, en lo que respecta a la extracción en caliente se presenta la condición de degradación de varios componentes por efecto de alta temperatura, se encuentra abundante bibliografía en la extracción de aceite de aguacate a escala de laboratorio, generalmente por uso de disolventes (Gómez, 1982) (Alter, 1982) (Lewis, 1978) (Martínez Nieto, 1988) pero son pocas las

referencias a otros procedimientos de extracción que se hayan llevado a escala industrial.

3.4 EL ACEITE DE AGUACATE

El contenido de aceite de la pulpa en el aguacate cambia con la variedad y el tiempo de maduración del fruto. Un fruto arrancado tempranamente tiene menor contenido de aceite que el fruto que permanece el tiempo adecuado en el árbol (PROHACIENDO, 2001).

Investigaciones recientes han realizado análisis químicos del aceite de aguacate demostrando que contiene una amplia gama de compuestos benéficos para la salud. Dichos compuestos son, el alfa-tocoferol, que reduce las enfermedades cardiovasculares, los fitoesteroles (incluyendo β -sistosterol) inhiben la absorción intestinal de colesterol en el ser humano, disminuyendo los niveles plasmáticos de colesterol total y pueden prevenir el cáncer de colon, mama y próstata (MADR, 2005).

Además de pigmentos liposolubles (carotenoides) como carotenos, xantofilas y una cantidad importante de clorofila. Luteína (una xantofila), que reduce de trastornos por manchas oculares y el riesgo de cataratas.

Las tres familias o series de ácidos grasos insaturados que tienen importancia biológica se derivan del ácido oleico (AO), del ácido linoleico (AL) y del ácido linolénico (ALN); estos ácidos están contenidos en el aceite de aguacate y es de gran interés evitar la degradación de estos. La ingesta suficiente de ácidos grasos insaturados desempeña un papel crucial en el desarrollo y mantenimiento de una correcta función cerebral, la visión, las respuestas inmunitarias e inflamatorias y la producción de moléculas semejantes a las hormonas. El reemplazo de ácidos grasos saturados por insaturados en la dieta, produce una favorable disminución del colesterol LDL (lipoproteína de baja densidad) y de la relación colesterol total/colesterol HDL (lipoproteína de alta densidad), considerados importantes predictores de enfermedad

coronaria. El ácido linoleico y el ácido oleico son los más efectivos para disminuir los niveles de colesterol plasmático.

3.4.1 CARACTERIZACIÓN Y COMPOSICIÓN

La presencia de ácidos grasos insaturados es una de las principales características del aguacate. La técnica más usada para la determinación del perfil de ácidos grasos para el aceite de aguacate es por cromatografía de gases: ésta técnica establece la proporción y el contenido de ácidos grasos, saturados e insaturados de la muestra de aceite, además de poder determinar si un aceite se encuentra adulterado. (Finol, 2007)

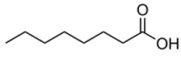
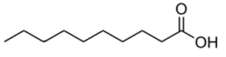
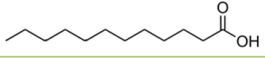

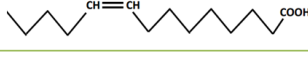

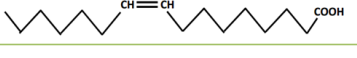
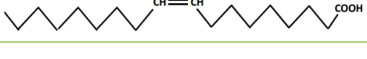

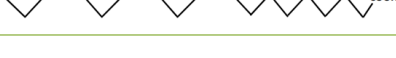

La biosíntesis de ácidos grasos es afectada por factores ambientales de precosecha como luz, temperatura, riego, constituyentes del suelo, daños físicos y ataque de plagas (Ozdemir, 2004). Ozdemir evaluó la composición de ácidos grasos durante la postcosecha y maduración del aguacate de las variedades Fuerte y Hass. Las muestras fueron seleccionadas durante tres meses a intervalos de un mes y se mantuvieron en el laboratorio durante ocho días, período durante el cual se considera la maduración del aguacate.

El índice trans se mide fácilmente por espectroscopia infrarroja según el método IUPAC2.207. Estos efectos están compensados en cierto grado en los aceites que contienen dieno cis – trans y trans – trans. (Valentin, 2010)

El grado de instauración de una grasa, esto es el número de enlaces dobles, normalmente se expresa en términos de índice yodo de la grasa. El índice de yodo puede calcularse a partir de la composición de ácidos grasos obtenida por cromatografía de gases.

Los lípidos debido a la presencia de instauraciones, tienen una gran reactividad química ya que están propensos a transformaciones oxidativas y de isomerizaciones.

TABLA 3-1. TABLA DE LOS PRINCIPALES ÁCIDOS GRASOS CONTENIDOS EN EL ACEITE DE AGUACATE.

NO.	ÁCIDO GRASO	TEMPERATURA DE FUSIÓN (°C)	TEMPERATURA DE EBULLICIÓN (°C)	ESTRUCTURA QUÍMICA
1	Caprílico (8:0)	17	240	
2	Cáprico (10:0)	32	271	
3	Laurico (12:0)	44	130	
4	Mirístico (14:0)	54	149	
5	Miristoleico (14:1)	-4	250.5	
6	Palmitico (16:0)	63	167	
7	Palmitoleico (16:1)	1	251	
8	Oleico (18:1)	13	286	
9	Linoleico (18:2)	-5	230	
10	Linolénico (18:3)	-11	229	
11	Esteárico (18:0)	69	184	

3.4.1.1 PROPIEDADES FÍSICAS

Las propiedades físicas más significativas son la humedad y la densidad, las cuales pueden ser evaluadas fácilmente. Los resultados obtenidos a partir de estas valoraciones permiten identificar a primera vista si los aceites se encuentran en el estado apropiado para las pruebas posteriores de calidad, o si deben ser rechazados, pues su calidad no es adecuada.

Humedad. Es un parámetro de la cantidad de agua contenida en el aceite. El agua en exceso es un factor perjudicial para el aceite debido a que puede formar enlaces químicos y físicos inconvenientes, favoreciendo así reacciones de degradación.

El método se basa en la separación por evaporación del agua contenida en la muestra tratándola a temperatura elevada sin exceder los 130°C, dependiendo de la influencia de la presión. (DOF, 1987)

Densidad. La densidad no representa una medida directa de calidad del aceite, aunque puede variar con la polimerización o la oxidación. De igual manera es de gran utilidad para las transformaciones masa – volumen y es indispensable para los cálculos involucrados en el diseño de equipos. (DOF, 1987)

3.4.1.2 PROPIEDADES QUÍMICAS

Las técnicas químicas mencionadas a continuación son propias de todos los aceites y las grasas. Para esto se debe determinar la cantidad equivalente de reactivo necesaria para hacer reacción con los grupos funcionales de los aceites o de sus componentes.

Índice de Acidez. Es la medida del contenido de ácidos grasos libres presentes en grasas y aceites. Este resultado es necesario como prueba de pureza, ya que permite sacar conclusiones sobre su estado al igual que de las reacciones de degradación que se pudieran originar durante el tratamiento y almacenamiento del aceite. Metodológicamente este índice representa la cantidad en miligramos de hidróxido de potasio necesario para la neutralizar los ácidos grasos libres presentes en 1gr de aceite o grasa. Generalmente es expresado en porcentaje de ácidos grasos libres o en porcentaje del ácido oleico. (DOF, 1987)

Índice de Peróxidos. Es una medida del oxígeno unido a las grasas en forma de peróxido. Se forman especialmente hidroperóxidos como productos de oxidación primarios, además de pequeñas cantidades de otro tipo de peróxidos como consecuencia de procesos oxidativos. Por esta razón, el índice de peróxidos proporciona información acerca del grado de oxidación de la muestra. Esta información es de vital importancia en el análisis fisicoquímico de cualquier grasa ya que permite estimar hasta qué punto la grasa ha sido alterada. De igual manera debe tenerse en

cuenta que si la oxidación está muy avanzada, se producirá un aumento paulatino de la degradación de los peróxidos por lo que el índice descenderá. Metodológicamente este índice es expresado como los miliequivalentes de oxígeno en forma de peróxido por kilogramo de grasa o aceite. (DOF, 1987)

Índice de Yodo. El índice de yodo es una medida del grado de insaturación de las grasas y aceites y se expresa en términos del número de centigramos de yodo absorbido por gramo de muestra. El índice será mayor cuanto mayor sea el número de dobles enlaces por unidad de grasa. Esta prueba evalúa la identidad y la pureza de las grasas. (DOF, 1981)

Índice de saponificación. El índice de saponificación es una medida de los ácidos grasos libres y combinados que existen en las grasas. Es considerado como una medida de pureza, pues un alto índice de saponificación se refiere a un alto nivel de oxidación del aceite. El índice de saponificación en términos químicos establece la cantidad de hidróxido de potasio expresado en miligramos, necesario para saponificar un gramo de aceite o grasa. (DOF, 1981)

3.5 COMPARACIÓN CON OTROS ACEITES COMESTIBLES

Dentro de los aceites más conocidos están el de girasol, lino, sésamo, almendra, extraído de plantas oleaginosas, donde el aceite se encuentra en el interior de la semilla, así como el mayor reconocido y usado por sus propiedades el aceite de olivo, donde el aceite se forma en la pulpa de la fruta, raíz u hojas (Mora, 2006).

Los aceites de alta calidad y más saludables y con elevadas propiedades nutricionales para el organismo son sin duda los aceites extra vírgenes. Estos aceites se recomienda ingerirlos crudos, ya que de esta manera conservan sus altas propiedades medicinales y alimentarias. También hay que tomar en cuenta el lugar de donde provienen los aceites, ya que la calidad del suelo y demás factores intervienen en las propiedades, el aceite de oliva, por ejemplo, se extrae de las aceitunas y

dependiendo del tipo de olivo que se use y sus condiciones de crecimiento resultan las características del producto final como lo son el valor nutritivo, el sabor y color.

En México existen cuatro cultivos principales a partir de los cuales se obtiene material oleaginoso: cártamo, girasol, soya y maíz; siendo este último el cultivo de mayor importancia en términos de área, producción y rendimiento. (Oleaginosas, 2001)

3.6 TÉCNICAS DE EXTRACCIÓN DEL ACEITE DE AGUACATE

A lo largo de la historia se han ido modificando las diferentes técnicas de extracción de aceite de aguacate, esto depende del uso que se le quiera dar al producto final. Por ejemplo, el aceite extraído mediante solventes y fluidos supercríticos es usado en la industria cosmética, dado su alto rendimiento de obtención; mientras que la extracción por métodos mecánicos y físicos, son usados para la industria alimentaria (A.M. Restrepo, 2012). En la actualidad se está investigando en métodos combinados de aplicación de enzimas junto con métodos mecánicos que aumentan el rendimiento en la extracción. (Costa, 2001)

3.6.1 EXTRACCIÓN CON SOLVENTES

La extracción por solvente se inició en Europa en procesos batch en 1870. Después de la Segunda Guerra Mundial se desarrollaron técnicas para que fuera un proceso continuo y en contracorriente.

La extracción permite separar los componentes de una solución debido a la distribución desigual de los componentes entre dos líquidos inmiscibles. La sustancia a tratar se pone en contacto íntimo con un líquido completamente inmiscible capaz de extraer por solubilidad uno o más componentes. Usualmente este aceite es utilizado para uso cosmético o farmacéutico.

Este proceso requiere posteriormente una purificación para eliminar impurezas solubles e insolubles presentes, a esta etapa en general se le conoce como refinación, aunque incluye los procesos de refinación, blanqueo y desodorización.

La refinación inicia con el desgomado que permite retirar del aceite material no graso como fosfátidos, gomas y fragmentos de proteínas que afectan la estabilidad del aceite frente a la oxidación e influyen negativamente sobre los procesos subsecuentes de refinación. El desgomado se puede realizar por hidratación para hinchar los compuestos en solución, formando geles de gravedad específica mayor a la del aceite.

En 1998, Franco y Rodríguez procesaron la variedad Hass empleando hexano como solvente en el extractor Soxhlet durante 4 horas y se adicionó tocoferol y ácido cítrico al aceite extraído. El desgomado se realizó con agua en una proporción del 3% a 70°C y con separación centrifuga. El siguiente paso es la neutralización que tiene como fin remover los ácidos grasos libres del aceite. Se hizo con NaOH a una temperatura de 70°C durante 15 minutos. Después se realizó el blanqueo con tierras blanqueantes en una proporción del 10% a 90°C y durante 10 minutos. La desodorización se realizó con vapor inerte a 105°C y se adicionaron antioxidantes al finalizar el proceso. (J. Franco, 1998)

Martínez extrajo aceite de la misma variedad de fruto. Inició con el secado de la pulpa a 105°C, durante 2 horas; la pulpa deshidratada obtenida variaba entre un color amarillo y café claro. Se realizó la extracción con hexano a 59°C durante 1 hora y con ciclohexano a una temperatura de 71°C durante el mismo período de tiempo y se logró un rendimiento del 50 y 48.5% (b.s.) respectivamente. El proceso continuó con el secado del aceite extraído que se lleva a cabo en dos etapas: la primera, en un rotavapor que recupera el 95% del solvente y la siguiente en un concentrador de muestras a 0.4 bar y a una temperatura de 75°C durante 3 horas. El desgomado, se realizó calentando el agua y el aceite a 100°C y 80°C, respectivamente antes de mezclarlos, agitando vigorosamente durante 10 minutos, se dejó precipitar las gomas y se retiraron por filtración. La desodorización se planteó con carbón activado a 71°C durante 10 minutos. Martínez coincide con Franco y Rodríguez en las condiciones para la neutralización y el blanqueo. (Martínez, 2002)

3.6.2 CENTRIFUGACIÓN

El proceso de centrifugación se realiza en equipos que aprovechan la diferencia de densidades entre el agua y el aceite para la obtención del aceite, se realiza a temperaturas menores de 45°C, lo que permite que no cambien las propiedades nutricionales del aceite. La empresa mexicana Avoleo S.A. utiliza este método de extracción (ANIAME, 2002).

En 2004, Fawcett, reportó un rendimiento del 57,38% (b.s.), en la extracción del aceite de aguacate de la variedad Lorena. El aguacate fue tratado inicialmente con un despulpado manual, en el que se descartan la semilla y la cáscara, la maceración y la homogenización a 35°C por 15 minutos. La pasta obtenida se dispone para la centrifugación a una velocidad 8000 rpm durante 10 minutos. Después se retira la fase oleosa y se coloca en una segunda centrífuga a la misma velocidad y durante 5 minutos, se retira de nuevo la fase oleosa y se repite el proceso hasta que se asegure la remoción de restos de agua y tejido celular que pudieran haberse mezclado con el aceite (Fawcett, 2004).

3.6.3 EXTRACCIÓN POR PENSADO EN FRÍO

Es el modelo más común en la producción del aceite de oliva virgen. En el proceso las fases sólida y líquida se separan por presión, mientras que la separación final del aceite de la fase acuosa y de otras sustancias, se hace por centrifugación. Este modelo es utilizado por las empresas Razeto de Chile, The Grove en Nueva Zelanda, La Carlotta en México.

El proceso inicia con la maceración y el batido de la pulpa hasta lograr una consistencia homogénea. Después se somete a la acción de prensas hidráulicas, y se hace pasar a través de una serie de centrífugas. Algunos productores han adicionado

durante la molienda o maceración de la pulpa una mezcla de enzimas conocidas comercialmente como oleasas para mejorar la extracción del aceite.

En 2005, Ortiz, Dorantes y Galindez aplicaron este método combinado con microondas para la extracción del aceite de aguacate variedad Hass. Concluyeron que la aplicación de microondas no afecta las propiedades físicas ni químicas del aceite obtenido y provoca la salida de aceite de las vacuolas sin colapsar su pared celular en observaciones microestructurales. (Ortiz Moreno, et al., 2003)

3.6.4 EXTRACCIÓN CON FLUIDOS SUPERCRÍTICOS

En 2004, Botha utilizó dióxido de carbono supercrítico (pureza 99,95%) en la extracción de aceite de aguacate de la variedad fuerte y realizó la comparación con la extracción por el método Soxhlet, utilizando como solvente hexano. Para ambos ensayos a la pasta de aguacate se le retiró la humedad a 80°C durante 24 horas, se cortó en láminas de 2 mm y se almacenó en refrigeración a 4°C antes de la extracción.

Las extracciones con dióxido de carbono supercrítico se evaluaron entre 30 y 90°C a diferentes presiones. El producto de la extracción fue sometido a evaporación al vacío para eliminar cualquier residuo de dióxido de carbono. Se encontró que las mejores condiciones para la extracción son: 81°C y 540 atm en donde se completa el 95% de la extracción en 1 hora. Sin embargo, es importante considerar que a 350 atm se obtiene la misma cantidad de aceite en 2 horas y con la extracción con hexano al cabo de 8 horas. Además la composición de ácidos grasos insaturados es un 10% menor en el producto obtenido de la extracción con dióxido de carbono supercrítico (Botha, 2004) (Jiménez, et al., 2001).

3.6.5 EXTRACCIÓN CON ENZIMAS EN FRÍO

Las enzimas son catalizadores muy potentes y eficaces, químicamente son proteínas. Como catalizadores, actúan en pequeña cantidad y se recuperan indefinidamente. No llevan a cabo reacciones que sean energéticamente desfavorables, no modifican el sentido de los equilibrios químicos sino que aceleran su consecución. La característica más sobresaliente de las enzimas es su elevada especificidad.

En 2001, Costa estudió la extracción y refinación de aceite de aguacate con el objetivo de conocer el efecto de dos mezclas enzimáticas comerciales, sobre el rendimiento de extracción y sobre algunas de sus características físicas, químicas y sensoriales. La pulpa fue pretratada enzimáticamente con tres complejos enzimáticos: Pectinex, Olivex y en tres diferentes mezclas de concentración de ellos, para luego someterse en una prensa hidráulica de laboratorio. La mezcla óleo-acuosa obtenida fue centrifugada para separar el aceite crudo y posteriormente fue refinado. (Costa, 2001)

En 2005, Ovando hace un resumen de varios investigadores en cuanto a la evaluación del uso de enzimas en el rendimiento en la extracción de varios aceites, entre ellos el de aguacate. Se reporta que el rendimiento fue mayor después de someter la pulpa de aguacate a un proceso de extracción acuosa enzimática con los preparados por Costa, comparado con el proceso de extracción térmico tradicional. (Ovando & Waliszewski, 2005)

En 2006, Rojas y Acosta estudiaron la extracción del aceite de aguacate en frío, utilizando preparados enzimáticos comerciales para evaluar el rendimiento respecto a las variaciones de concentración de enzima, variación de pH, temperatura y el tiempo que llevaron a una mayor eficiencia del proceso. Los resultados obtenidos, mostraron un rendimiento mucho mayor en base seca que en base húmeda para la variedad de aguacate Hass. (Rojas & Acosta, 2006)

4. METODOLOGÍA

4.1 DISEÑO EXPERIMENTAL

Los diseños ortogonales (Taguchi, 1990) permiten evaluar un experimento de manera más completa que el diseño de experimento clásico (Montgomery, 1992). En los diseños ortogonales es posible identificar las variables independientes (de las cuales se sospecha que tienen un efecto significativo en el proceso), las variables de ruido (aquellas que son muy costosas evaluar en forma continua), las condiciones ambientales (aquellas de las cuales son imposible de tener control), las variables no significativas (las que permiten abatir los costos del proceso), y sobre las variables independientes que nos permite identificar cuales tienen un efecto significativo sobre la variabilidad el proceso y cuales sobre el valor deseado de la variable dependiente o sea, sobre la media; las variables independientes son aquellas que determinan el valor de comercialización (Acuña, 2014).

4.2 MÉTODO DEL DISEÑO EXPERIMENTAL

Los métodos tradicionales de control de la calidad se concentran en la determinación de un valor medio para un atributo y el establecimiento de límites de control; para luego realizar un control estadístico y descartar o retrabajar las piezas que se encuentren por fuera de estos límites. Este enfoque toma como premisa controlar el valor medio y distingue a la variabilidad (o varianza) como un dato del proceso.

El Dr. Genichi Taguchi propuso otra perspectiva en el que se empieza a pensar en la calidad del producto desde el diseño del mismo. El objetivo es diseñar productos menos sensibles a los factores aleatorios (o ruidos) que hacen que varíen los parámetros que definen su calidad. Esto es lo que se llama crear un diseño robusto.

Para esto definió un proceso de diseño de producto (y proceso de fabricación) en tres etapas:

1. DISEÑO DEL SISTEMA. Esta es la etapa conceptual en la que se determinan las características generales, parámetros a tener en cuenta, objetivos, etc.
2. DISEÑO DE PARAMETROS. Una vez establecido el concepto comienza la etapa de ingeniería de detalle, en la que se definen los parámetros del producto: dimensiones, especificaciones, materiales, etc. En esta etapa un análisis permite establecer parámetros que minimicen los efectos de la variabilidad en el proceso, medio ambiente y manipulación en la performance final del producto. En esta etapa se pueden realizar una serie de experimentos estadísticos que ayudan a medir la sensibilidad de los parámetros objetivos a variaciones en el proceso o en lo que se denominan ruidos.
3. DISEÑO DE TOLERANCIAS, Completado el diseño de parámetros, y con una real comprensión de los efectos de cada uno de los parámetros en la performance final del producto. Se puede centrar la atención en unos pocos parámetros clave, sobre los que se trabajará en obtener tolerancias más estrechas.

Dentro de sus principales ventajas se encuentran las siguientes:

1. Reproducibilidad y confiabilidad de las conclusiones.
2. Es una forma sencilla y directa de examinar muchos factores a la vez de forma económica.
3. El uso de los arreglos ortogonales permite que un gran número de variables (factores) con diferente número de niveles se puedan analizar con un número pequeño de corridas experimentales.
4. Cuando el número de factores se incrementa, con la ayuda de tablas y graficas permite determinar que combinaciones experimentales realizar.
5. Enfatiza la importancia del conocimiento del proceso para que los expertos definan la necesidad de establecer interacciones entre los factores.

6. En la etapa de diseño de productos ayuda a encontrar la combinación de factores que garantiza la operación más confiable y establece el menor costo de manufactura.

4.3 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE EXTRACCIÓN DE ACEITE EXTRA VIRGEN DE AGUACATE

Esta investigación se ha ido desarrollando desde años atrás en colaboración con mi asesor José Domingo Acuña Pardo y el equipo de trabajo, con la finalidad de encontrar un proceso capaz de conservar las propiedades químicas del aguacate que aportan un valor nutrimental para el cuerpo humano, fuera del uso de procesos químicos.

A continuación se muestran las etapas del proceso que se realizó en esta investigación.



FIGURA 4-1. PROCESO GLOBAL DE EXTRACCIÓN DE ACEITE EXTRA VIRGEN DE AGUACATE

4.4 SELECCIÓN DE VARIABLES

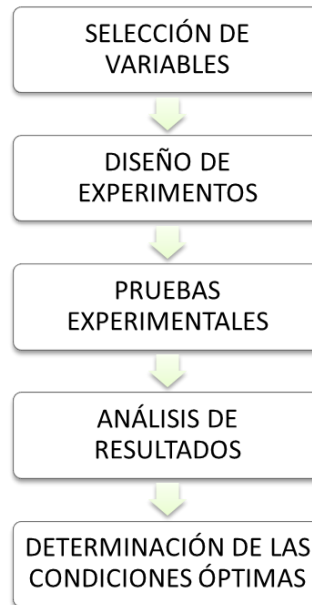


FIGURA 4-2. DIAGRAMA PARA LA SOLUCIÓN DEL PROBLEMA

4.4.1 VARIABLES

ETAPA DE ALMACENAMIENTO DE MATERIA PRIMA:

- 1) Temperatura ambiental
- 2) Presión ambiental
- 3) Humedad relativa
- 4) Insolación

ETAPA DE SELECCIÓN DEL FRUTO:

- 1) Estado de madurez
- 2) Daños físicos

ETAPA DE LAVADO Y SECADO:

- 1) Concentración de la solución antiséptica
- 2) Tiempo de residencia
- 3) Velocidad de la banda
- 4) Velocidad de aspersion

ETAPA DE DESPULPADO:

- 1) Inclinación
- 2) Velocidad del motor
- 3) Tamaño de fruto
- 4) Tamaño de malla

ETAPA DE EXTRUSIÓN:

- 1) Temperatura del calentador
- 2) RPM del calentador
- 3) Tiempo de residencia
- 4) Presión

ETAPA DE CENTRIFUGACIÓN:

- 1) RPM de la centrifuga
- 2) Tiempo de residencia

La región en la que se llevó a cabo la investigación fue en el municipio de Nuevo Parangaricutiro contando con huertas de aguacate certificadas. Los aguacates que tomaremos para extraer nuestro aceite deberán de cumplir con el porcentaje de materia seca que marcan las normas oficiales existentes, dichas huertas tienen certificados de inocuidad establecidos por el Sistema de Reducción de Riesgos de Contaminación (SRRC) y la certificación México-GAP, las cuales obligan a la realización de todos los análisis correspondientes a través de laboratorios igualmente certificados.

El municipio de Nuevo Parangaricutiro se localiza al sur de la región Purépecha, en el centro occidente del Estado de Michoacán, entre los paralelos 19° 21' 00'' y 19° 24' 45'' N y los meridianos 102° 08' 15'' y 102° 17' 30'' W. Tiene una extensión de 23,431.00 ha.

Se eligió esta región debido a que el fruto que se produce en esa zona contiene una elevada cantidad de ácidos grasos por la altitud a la que se encuentra y el clima altamente deseable para la maduración y tamaño perfecto de este fruto; y por tener la disposición y el interés de contribuir con el desarrollo de la presente investigación.

El objetivo general del proceso es la obtención de aceite extra virgen de aguacate desarrollado en seis etapas principalmente adicionando una más para obtener un aceite de mejor calidad y lograr eliminarle las gomas formadas:

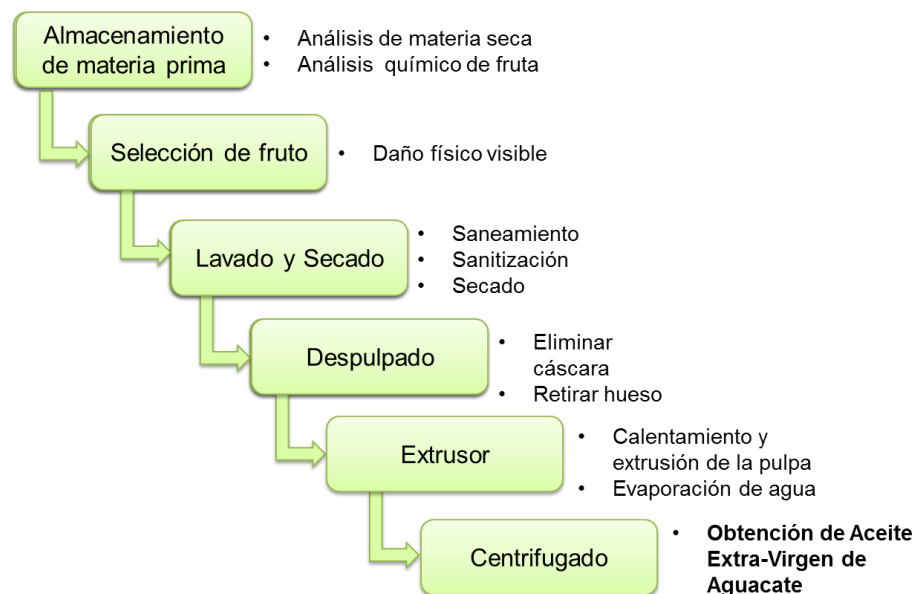


FIGURA 4-3. CARACTERÍSTICAS DE LAS ETAPAS DEL PROCESO

4.4.2 VARIABLES DEPENDIENTES

Variables que afectan al proceso:

- **Cantidad de aceite obtenido (CA) :**

$$CA = \text{Cantidad de aceite obtenido} = \frac{\text{Masa de aceite}}{\text{Masa de pulpa total}} \quad \text{Ec. 2}$$

Masa de pulpa total = masa de pulpa limpia + masa de inertes

Masa de inertes = masa de cáscara y hueso en la pulpa

Masa de aceite = masa de aceite crudo libre de pulpa y agua

- **Índice de acidez (IA):** Mide la acidez de los ácidos grasos insaturados sobre la base del ácido oleico. Un índice de acidez menor a 1.0 expresa de un aceite extra virgen en el mercado mundial.

4.5 DESARROLLO

El desarrollo de la presente investigación se efectuó en dos etapas; en la primera se realizó un análisis preliminar del proceso a nivel laboratorio. En una segunda etapa, se trasladó el proceso evaluado en laboratorio a nivel planta piloto. El aceite obtenido fue caracterizado de acuerdo con los parámetros de calidad según los requisitos indicados en la norma mexicana de aceites y grasas, especificaciones del aceite de aguacate NMX-F-052-SCFI-2007.

4.5.1 ANÁLISIS PRELIMINAR EN LABORATORIO

Para comenzar con el desarrollo de la investigación se realizó un análisis preliminar en el laboratorio del Posgrado de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, recolectando información de proyectos anteriores de la misma Facultad de Ingeniería Química y de estudios de campo realizados por el equipo de trabajo liderado por el M.C. José Domingo Acuña Pardo.

4.5.1.1 ALMACENAMIENTO DE MATERIA PRIMA

El objetivo de esta etapa es la inspección y evaluación de la madurez en el aguacate. Este proceso inicia con la recepción del fruto proveniente de las huertas certificadas del Municipio de Nuevo Parangaricutiro, la variedad de aguacate que utilizaremos en este proyecto será la Hass.

Esta fruta se clasifica en grupos de igual cantidad, en los cuales se varía el tiempo de maduración de dicha fruta. La maduración se lleva a cabo a temperatura ambiente (20 a 25°C). En esta etapa el índice de materia seca de la fruta varía de 0.21 a 0.24 que es el rango en el que se realiza la cosecha (Alimentario, 2005).

Para conocer la maduración del fruto se llevará a cabo una prueba de materia seca, la cual se describe a continuación:

Para el cálculo del índice de materia seca es necesario conocer el peso de la muestra seca (deshidratada), para lo cual se debe seguir la siguiente metodología:

- A. Se lava el fruto y se pesa en la balanza analítica la cápsula de porcelana (o papel filtro).
- B. Se toma el fruto, al cual se le realiza un corte en el área del pedúnculo y otro longitudinal separando el fruto en dos, a uno de las partes se le retira el hueso y se quita la membrana que lo protege, con el rebanador se pela el aguacate por completo, con el propósito de exponer únicamente la pulpa (mesocarpio).
- C. Ahora que fue pelado el aguacate se rebanan pequeñas porciones del mismo y se colocan sobre la capsula de porcelana (o papel filtro) pesando un promedio de 10 a 10.50 gramos de mesocarpio, posteriormente la muestra es llevada al horno de microondas para deshidratar la pulpa por completo con un tiempo aproximado de 4 a 4.5 minutos. Este procedimiento se le realiza a todas las muestras.

D. Una vez que la muestra se encuentra deshidratada se pesa. Por ultimo con los datos obtenidos y la formula mostrada a continuación se calcula el porcentaje de materia seca.

$$\text{Índice de materia seca} = 1 - \frac{\text{peso inicial} - \text{peso final}}{\text{peso inicial}} \quad \text{Ec. 1}$$

4.5.1.2 LAVADO Y SECADO

Una vez recibida la fruta pasa por un proceso de desinfección aplicando una solución antiséptica (hipoclorito de sodio con 200 ppm) en un tiempo de residencia determinado, esto con la finalidad de eliminar cualquier agente patógeno dañino para la salud como es el caso de coliformes fecales y totales, y no tengan contacto dichos agentes con la pulpa del aguacate. (Piedra Najera, 2013)

Posteriormente los aguacates se transportan a la sección de secado a condiciones ambientales, donde el fruto ya va desinfectado pero con exceso de agua, la humedad genera el crecimiento de hongos y pudrición de la fruta.

4.5.1.3 SELECCIÓN DE FRUTO

En esta etapa es seleccionada la fruta apropiada para ser procesada. Se debe tomar en cuenta que a la variedad Hass le toma hasta 8 días a una temperatura que oscila entre los 20 y 25°C en alcanzar su estado de madurez adecuado. A la fruta seleccionada se le realizan pruebas para asegurar su estado adecuado de procesamiento, el por ciento de materia seca debe estar entre un 30 y 34%.

Existen diferentes tipos de daños en el aguacate que frenan su exportación directa como fruta fresca pero que sin embargo, la fruta puede procesarse para obtener aceite con calidad extra virgen y de igual manera existen algunos daños que no permiten el procesamiento de la fruta.

Daños en el aguacate que permiten su procesamiento en la obtención de aceite:

- Daño físico
- Daño por insolación
- Daño por roña
- Daño por viruela
- Daño por trips
- Daño por producto caído
- Daño por producto con acidez provocado por las heces de las aves o por los animales silvestres
- Daño por mancha
- Daño por granizo

Daños que no permiten el procesamiento:

- Daño por clavo
- Daño por aguacate podrido

4.5.1.3.1 CARACTERIZACIÓN DEL AGUACATE

Esta etapa se realizó para obtener información y poder caracterizar de manera puntual el fruto con el que se está experimentando. Además de tener un amplio esquema para el desarrollo del proceso en planta piloto. (Acuña , et al., 2013)

Se realizaron pruebas experimentales para conocer el porcentaje másico de cáscara, hueso y pulpa comprendido en el fruto, siguiendo la siguiente metodología:

1. Pesar el aguacate entero (fruta fresca), tomar dato.
2. Pelar el fruto para pesar la cáscara y el hueso, cada uno por separado y tomar los datos.
3. Pesar la pulpa del fruto, tomar dato.
4. Con los datos obtenidos se procedió a calcular el porcentaje de masa con las siguientes ecuaciones:

$$\% \text{ Cáscara} = \frac{\text{gr de cáscara}}{\text{gr de fruta fresca}} \quad \text{Ec. 4.1}$$

$$\% \text{ Hueso} = \frac{\text{gr de hueso}}{\text{gr de fruta fresca}} \quad \text{Ec. 4.2}$$

$$\% \text{ Pulpa} = \frac{\text{gr de pulpa}}{\text{gr de fruta fresca}} \quad \text{Ec. 4.3}$$

5. Realizar tres pruebas y obtener un promedio.

Obtener el valor de la densidad de la pulpa con la siguiente metodología:

1. Se coloca un volumen conocido de agua en una probeta.
2. Se pesa un pequeño trozo de pulpa, se toma el dato.
3. Se introduce el trozo de aguacate del paso anterior a la probeta con agua y se toma la lectura del volumen que contiene la probeta.
4. Se repiten los pasos anteriores con 2 muestras más y se procede al cálculo de la densidad, basándose en el principio de Arquímedes para su cálculo:

$$\rho(\text{gr/ml}) = \frac{\text{gr de pulpa}}{\text{volumen desplazado de pulpa}} \quad \text{Ec. 4.4}$$

4.5.1.4 DESPULPADO

El proceso de despulpado tiene el fin de retirar toda la cáscara negra (exocarpio) y el hueso del interior, aislando así la pulpa virgen de este fruto.

Este proceso se realizó de manera manual; se partió el aguacate a la mitad para retirar el hueso y con una cuchara se separó la pulpa de la cáscara evitando la contaminación de la pulpa con trazas de cáscara y hueso.

Esta pulpa limpia paso a un proceso de machacado manual con un utensilio de cocina obteniendo como resultado una papilla de aguacate.

4.5.1.5 EXTRUSIÓN

Una vez eliminada la cáscara y el hueso, la papilla entra al proceso de extrusión donde se agita y se transforma en pasta para facilitar la liberación del aceite de las células utilizando un calentador en el que podemos variar la temperatura y la velocidad del rotor.

Se utilizó una plancha de calentamiento variando la temperatura de la pasta entre 30 a 120°C con intervalos de 10°C. El agitador utilizado se mantuvo en una velocidad constante para cada uno de los experimentos realizados.

Lo que obtenemos al final de esta etapa es una mezcla de aceite extra-virgen de aguacate, agua y fibra, esta mezcla se filtró a presión con una tela de manta para separar la fase solida de la fase oleosa.

4.5.1.6 CENTRIFUGACIÓN

La mezcla oleosa obtenida en el proceso de anterior se lleva a un sistema de centrifugación para poder separar las tres fases contenidas en el tubo de ensaye, el aceite extra-virgen de aguacate, agua y materia vegetal.



FIGURA 4-4. CENTRIFUGA

Se usó una centrifuga marca Clay-Adams Safety Head con una capacidad de seis tubos de 15 ml. Usando una velocidad de 5000 rpm.

El aceite obtenido en el tubo de ensaye se extrae con una pipeta a un frasco para realizarle los análisis físico-químicos adecuados.

En el anexo núm. 1 se describe la técnica para la evaluación del índice de acidez.

En el anexo 2 se presenta la técnica de evaluación de la humedad.

En el anexo 3 se describe la técnica para la evaluación de la composición de ácidos grasos por cromatografía de gases.

4.5.2 DESARROLLO EN PLANTA PILOTO

Ya finalizado el proceso a nivel laboratorio, se planeó su desarrollo en una planta piloto, con los prototipos para escalar en forma industrial, entre ellos; una banda limpiadora y transportadora de aguacate, una secadora con rodillos, una despulpadora, un extrusor y una centrífuga de alta capacidad lo que permitió establecer los rendimientos y pérdidas a nivel planta piloto.

4.5.2.1 ALMACENAMIENTO DE MATERIA PRIMA

De acuerdo a los resultados adquiridos y tomando en cuenta el criterio para la toma de decisiones, aplicado en el análisis de laboratorio, se seleccionó como materia prima para trabajar en planta piloto el aguacate que llaman de desecho los productores que exportan, al no cumplir con las normas requeridas es desperdicio para ellos. Siendo el aguacate Hass la variedad que presenta un mayor rendimiento y muy buenas características físicas, químicas y organolépticas en el producto final resultante del laboratorio.

4.5.2.2 LAVADO Y SECADO

Una vez seleccionada y separada la fruta, pasa por un proceso de lavado en un medio acuoso de hipoclorito de sodio (200 ppm) con el fin de eliminar cualquier crecimiento microbiano sobre la superficie del fruto de aguacate, que pudiera ocasionar una alteración o represente un riesgo a la inocuidad alimentaria de la pulpa virgen al momento de manipularla.

El equipo de lavado es de acero inoxidable, contiene un sistema de rodillos de PVC los cuales están sumergidos sobre la solución de lavado para los aguacates, dicho sistema se opera por medio de un sistema de cadena y engranes.

Para controlar la concentración del medio desinfectante, se cuenta con un sistema de recirculación de agua mediante una bomba. Tomando agua del fondo para transportarla otra vez al sistema, por medio de unas boquillas ubicadas en la parte de la alimentación de la tina de acero inoxidable.

Pasados de 5 a 10 min en la etapa de lavado, el aguacate se descarga en la etapa de secado para eliminar la humedad proveniente de la etapa de lavado, por medio de una tolva con pendiente.

Posteriormente pasan por un sistema de rodillos con cerdas, con la finalidad de conducirlos a la parte frontal del proceso y a la vez ir eliminando el exceso de agua que contienen. El exceso de agua es eliminado y cae a una tina de recuperación de agua localizado en la parte inferior del sistema de rodillos, los rodillos se presentan en dos colores, los primeros son de color azul (cerdas finas) y los últimos de color amarillo (cerdas duras).

Finalmente esta etapa termina en el almacenamiento del fruto en recipientes adecuados para llegar a un estado de maduración en el que pueda entrar al proceso de despulpado. Esto se realiza con una inspección visual y manual del aguacate determinando un estado de madurez al calcular el índice de materia seca (0.30 – 0.34).

4.5.2.3 SELECCIÓN DE FRUTO

Siendo nuestra materia prima el desecho de la exportación de productores aguacateros, se selecciona adecuadamente tomando en cuenta los daños en el aguacate que permiten su procesamiento en la obtención de aceite. Apartar en grupos dependiendo del grado de madurez en el que se encuentren esto se logra con un análisis visual y experiencia desarrollada en el campo.

4.5.2.4 DESPULPADO

Alcanzado el grado de madurez apropiado en los aguacates, estos se transportan a la etapa de despulpado con la finalidad de retirar toda la cáscara negra y el hueso de la pulpa mediante un equipo de acero inoxidable.

Los aguacates se colocan en una charola que los guiará a la alimentación del equipo por medio de una tolva, caerán a un helicoide o gusano con la finalidad de lograr la ruptura del fruto. La presión del mismo lo transporta a un cilindro, el cual contiene mallas que nos ayudan a separar la pulpa del hueso y la cáscara.

Esta etapa de despulpado fue desarrollada en una investigación previa por el P.I.Q. Andrés Quintero Sánchez; los resultados que él obtiene en cuanto a las características de la pulpa que se alimenta al extrusor corresponden a los resultados obtenidos en la experimentación del compañero.

El proceso de despulpado se realizó durante 0.5 horas para tratar 15 kg. Durante este proceso la pulpa sale con pequeñas trazas de cáscara y hueso debido a que pasa por una malla de 0.33 cm y permite el paso de material no deseado. Para este proceso se diseñó una despulpadora de aguacate con las siguientes características: (Quintero, 2015)

4.5.2.5 EXTRUSIÓN

Para la etapa de extrusión se diseñó un equipo que permite iniciar la separación física del aceite con relación al agua y a la fibra, utilizando la temperatura, la velocidad de extrusión y el tiempo de residencia considerados como las principales variables para lograr la separación.

El equipo es de acero inoxidable, el cual cuenta con un tornillo que es accionado por un motor, el sistema tornillo-cilindro que desplaza la masa de la pulpa a procesar hasta la descarga del extrusor y se realimenta hasta que se extrae el aceite contenido en la masa original (Campos, 2015).

Esta etapa de extrusión fue desarrollada en una investigación previa por la alumna P.I.Q. Osiris Campos Tandi; los resultados que se obtuvieron en cuanto a los rendimientos y características de la pasta final fueron el comienzo para las pruebas que se realizaron.

4.5.2.6 CENTRIFUGACIÓN

Se diseñó un sistema de centrifugación que consta de una canasta donde se vierte la pasta de aguacate quedando la fibra depositada en un sistema de mallas,

mientras que el agua y el aceite salen por un conducto diferente. El tiempo aproximado para la separación de 3kg fue de 60 minutos.

5 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.1 ANÁLISIS PRELIMINAR EN LABORATORIO

Se realizaron las pruebas en laboratorio debido a que existe escasa información sobre el procesamiento del aguacate.

El aguacate se cultiva de 1, 000 a 2, 800 msnm y en cada región los contenidos de aceite son diferentes debido a que el proceso de maduración es diferente, sin embargo, esta investigación está comprometida para realizarse en el municipio de Nuevo Parangaricutiro, por ello necesitamos conocer la caracterización particular del producto de esta región.

La literatura cita rangos muy limitados de temperaturas para la realización de la extrusión, sin embargo, sospechamos que pueden ser más amplios.

Las especificaciones comerciales indican un índice de acidez de 1.0 o menor para tener la denominación de extra virgen; esta variable requerimos investigarla en función de otra variable independiente como la temperatura, el tipo de procesamiento y, contenido de hueso y cascara, entre otras.

Se ha observado que la mezcla de aceite de aguacate con agua forma una emulsión muy poderosa y que en la industria local se utilizan ciertos ácidos y bases para romperla, sin embargo, el interés de esta investigación radica en no utilizar ninguna sustancia química para el procesamiento, razón por la cual se realizaron las siguientes estudios de laboratorio, con la finalidad de encontrar resultados sobre lo el comportamiento del aceite de aguacate durante el procesamiento.

5.1.1 ALMACENAMIENTO DE MATERIA PRIMA

De acuerdo con los resultados de laboratorio el criterio de mayor importancia es la temperatura de maduración con la que se almacenó el fruto, una temperatura

debajo de 15°C nos retarda y limita la madurez del aguacate influyendo en el porcentaje de aceite contenido en el fruto.

Siendo nuestra materia prima el desperdicio de los aguacateros exportadores cumpliendo con la norma NMX-FF-016-SCFI-2006 que nos asegura un índice de materia seca mayor a 0.21, estar visiblemente sanos, exentos de cualquier material extraño visible, libres de insectos y daños. (Financiera Rural, 2012)

5.1.2 LAVADO Y SECADO

Se realizaron análisis microbiológicos a los aguacates que se recibieron para su caracterización, los resultados se muestran en las Tabla 5.1 y 5.2, en ellos observamos que todos los aguacates tienen heces fecales, lo que parece ser normal ya que los árboles se fertilizan con abonos orgánicos que no siempre están perfectamente inóculos, además el viento transporta materia fecal del suelo a cualquier lugar del árbol o de los árboles de otras huertas.

TABLA 5-1. RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS EN EL EXOCARPIO DEL AGUACATE.

MUESTRA PROCESADA EXOCARPIO	
Microorganismo	Unidades Formadoras de Colonias/gr (UFC)
Mesófilos Aerobios	350 UFC
Coliformes Totales (NMP)	100 UFC
Hongos y Levaduras ¹	263 UFC
<i>Salmonella sp.</i>	No detectable
<i>Escherichia coli</i> ²	12 UFC

1. Se refiere a hongos filamentosos de tipo fitopatógeno y a levaduras de tipo oportunista. En donde se aislaron colonias de hongos filamentosos, a través de Agar Papa Dextrosa y YPG suplementado con Tritón X-100, de pertenecientes al género *Colletotrichum sp.* (Responsables de la antracnosis).
2. No se refiere al serotipo 0157:H7 (entero-hemorrágica).

TABLA 5-2. RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS EN EL MESOCARPIO DEL AGUACATE

MUESTRA PROCESADA MESOCARPIO (PULPA)	
Microorganismo	Unidades Formadoras de Colonias/gr (UFC)
Mesófilos Aerobios	No detectable
Coliformes Totales (NMP)	No detectable
Hongos y Levaduras ¹	18 UFC
<i>Salmonella sp.</i>	No detectable
<i>Escherichia coli</i> ²	No detectable

1. Se refiere a hongos filamentosos de tipo fitopatógeno y a levaduras de tipo oportunista. En donde se aislaron colonias de hongos filamentosos, a través de Agar Papa Dextrosa y YPG suplementado con Tritón X-100, de pertenecientes al género *Colletotrichum sp.* (Responsables de la antracnosis).
2. No se refiere al serotipo 0157:H7 (entero-hemorrágica).

Es importante citar que ni la industria ni los consumidores tienen presente esta información por lo que no lo hacen antes de ingerirlos o procesarlos, el conocimiento de esta información nos obliga a investigar los métodos más apropiados para eliminar la materia fecal.

En esta etapa de lavado se usó la concentración indicada en las normas aplicables, así como la implementación de las Buenas Prácticas Agrícolas y Buenas Prácticas de Manejo en los procesos de producción, cosecha y empaque de Aguacate variedad *Hass* y experiencias previas de nuestro grupo de trabajo en campo.

En el proceso de lavado para la fruta se utilizó una solución antiséptica de hipoclorito de sodio con una concentración de 200 ppm en un rango de pH entre 6.5 y 7.5.



FIGURA 5-1. DESINFECCIÓN DE AGUACATE

Una vez realizadas las pruebas de lavado ya no se encontró material microbiológico dañino para el humano, la prueba seleccionada con hipoclorito de sodio fue debido a que la norma así lo indica y además es el procedimiento más económico.

La etapa de secado dura aproximadamente 5 minutos, este tiempo es el ideal para eliminar la humedad en la cáscara del fruto.

Previo contacto con el aguacate, los utensilios y material utilizado fueron lavados y desinfectados para prevenir una contaminación durante la manipulación del fruto.



FIGURA 5-2. ÁREA DE SECADO DE LOS AGUACATES

Cuando el índice de materia seca del aguacate oscila entre 0.32 y 0.34 se transporta a la siguiente etapa, la etapa de despulpado para ser retirada la cascara y el hueso de la pulpa que será procesada, en caso de ser lo contrario se almacena hasta que llegue a esa madurez y al pasar ese índice, el aguacate se desecha ya que no es recomendable para consumo humano.

5.1.3 SELECCIÓN DE FRUTO

El aguacate ya maduro se seleccionó de tal manera que permitiera su procesamiento, desechando los frutos que tengan daño por clavo o que presenta descomposición de materia.

5.1.3.1 CARACTERIZACIÓN DEL AGUACATE

Como primer punto de la caracterización se evaluaron los rendimientos y porcentajes en peso de cáscara, hueso y pulpa de aguacate. Obteniendo los siguientes resultados:

TABLA 5-3. RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN DEL AGUACATE (PORCENTAJES EN PESO)

Muestra	Masa (gr)			% Masa			Promedio
	1	2	3	1	2	3	
Cáscara	33.68	31.23	32.72	11.98	11.84	11.94	11.91
Hueso	34.91	33.20	34.36	12.41	12.59	12.54	12.51
Pulpa	212.66	199.25	206.89	75.61	75.57	75.52	75.65
Total	281.25	263.68	273.97	100.0	100.0	100.0	100.0

Determinando la pulpa con la metodología antes mencionada, se tuvieron los siguientes resultados:

TABLA 5-4. RESULTADOS DEL CÁLCULO DE LA DENSIDAD DE LA PULPA

DENSIDAD			
Muestra	Masa (gr)	V desplazado (ml)	ρ (gr/ml)
1	5.456	5.90	0.925
2	5.643	6.00	0.941
3	4.470	4.80	0.931
ρ promedio (gr/ml) =			0.932

5.1.4 DESPULPADO

En esta etapa se usó un cuchillo para partir el aguacate en mitades y una cuchara para separar la pulpa de la cáscara, quedando una pulpa totalmente limpia, libre de cáscara y hueso.

Se realizó una medición del índice de materia seca con la metodología descrita en el capítulo anterior y conocer la madurez en la que se encuentra el aguacate. Los resultados obtenidos se presentan a continuación:

TABLA 5-5. RESULTADOS DEL ÍNDICE DE MATERIA SECA CONTENIDO EN LA PULPA PROCESADA

Prueba	Peso inicial (gr)	Peso final (gr)	Índice de materia seca (lms)
1	10.0713	3.2866	0.3263
2	10.1146	3.3708	0.3333
3	10.2999	3.3688	0.3270
		Promedio =	0.3279

Las mitades de aguacate fueron machacadas con un utensilio de cocina para acondicionarla y poder pasarla a la siguiente etapa de extrusión.

5.1.5 EXTRUSIÓN

Se utilizó una plancha de calentamiento marca Thermo Scientific modelo Cimarec, un agitador de acero inoxidable con el fin de mantener en movimiento la pulpa, un recipiente de acero inoxidable con una capacidad de 1lt.

Se usó un soporte universal para ajustar el agitador dentro del recipiente y se necesitó de un termómetro de mercurio con escala de 400°C.

En este acoplamiento de equipos se logró extruir la pulpa a diferentes temperaturas, obteniendo al final una pasta extruida de diferentes características y propiedades químicas.



FIGURA 5-3. EQUIPO UTILIZADO EN LA ETAPA DE EXTRUSIÓN

La pulpa se calentó durante el tiempo necesario para llegar a la temperatura requerida y observar las pequeñas gotas de aceite que desprendía la pasta caliente. Cada prueba exigió diferente tiempo de calentamiento.



FIGURA 5-4. LIBERACIÓN DE GOTAS DE ACEITE EN LA PULPA DE AGUACATE CON AGITACIÓN CONTINUA

La pasta resultante después del calentamiento fue extruida de manera manual con ayuda de una tela y retener en ella la mayor parte de la fase sólida de la pasta caliente.



FIGURA 5-5. PASTA CALIENTE A DIFERENTES TEMPERATURAS

La pasta presentó una diferencia en el color para cada temperatura de calentamiento. Para cada prueba se requirieron diferentes periodos de tiempo, el tiempo de extrusión se tomó desde el calentamiento hasta llegar al punto final de extrusión de la pasta manualmente.

TABLA 5-6. TIEMPOS REQUERIDOS PARA LA EXTRUSION DE LA PASTA A DIFERENTES TEMPERATURAS

Temperatura	30°C	40°C	50°C	60°C	70°C	80°C	90°C	100°C	110°C	120°C
Peso de pulpa (g)	74.68	75.39	78.52	73.04	75.97	76.35	73.86	71.56	77.86	75.97
Tiempo extrusión (min)	83	72	50	38	30	25	20	70	86	104

Los tiempo de extrusión mayores a la temperatura de ebullición del agua (en Morelia es 96°C) son grandes ya que se tarda en romper la emulsión aceite-agua para poder evaporar toda el agua.

El tiempo de extrusión de cada prueba nos indica que es tardado llegar a romper la membrana que contiene las gotas de aceite a temperaturas menores de 90°C, sin embargo se encontró con un sistema potente y estable a temperaturas mayores a 90°C. Este sistema es una emulsión poderosa entre el aceite y el agua contenidos en la pulpa del aguacate.

En la industria de grasas y aceites de grado alimenticio se usan procesos de refinación físicos y químicos para romper está emulsión que principalmente se basan

en añadir químicos básicos y ácidos mencionando algunos como ácido cítrico, ácido fosfórico y sosa (Team Foods, 2014).



FIGURA 5-6. PASTA EXTRUIDA EN UN VIAL PARA SER CENTRIFUGADA

5.1.6 CENTRIFUGACIÓN

Las muestras extruidas de la pasta resultante fueron suministradas en viales de 15ml para ser centrifugadas a 5000 rpm.

TABLA 5-7. RESULTADOS DE LA CENTRIFUGACIÓN

	30°C	40°C	50°C	60°C	70°C	80°C	90°C	100°C	110°C	120°C
Tiempo centrifugación (min) a 3000RPM	20	20	20	20	10	10	10	10	--	--
Volumen de aceite extraído (ml)	1.7	1.75	2	2.7	2.75	3.5	3.75	5	5.7	5.3

En estas pruebas se pudo notar la diferencia de la pulpa tratada a diferentes temperaturas y las diferentes fases que se generan en cada prueba, variando de dos a tres fases. A temperaturas menores o iguales a 90°C se obtuvieron 3 fases al final

de la extrusión, en cambio trabajando de 100 a 120°C observamos únicamente dos fases.



FIGURA 5-7. ACEITE EXTRAIDO A DIFERENTES TEMPERATURAS

A cada muestra se le realizó un análisis cromatográficos así como el cálculo del valor de acidez. Para el análisis cromatográfico se usó el método de prueba de la norma NMX-F-017-SCFI-2005, de la misma manera para el valor de acidez se usó el método de prueba que menciona la norma NMX-F-101-SCFI-1987.

TABLA 5-8. CONCENTRACIONES DE LOS ÁCIDOS GRASOS PRESENTES EN EL ACEITE DE AGUACATE EXTRAIDO A DIFERENTES TEMPERATURAS

Ácido Graso	Temperatura (°C)									
	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
Palmítico	19.12	19.45	15.92	17.2	18.62	19.04	15.55	17.02	17.48	17.36
Esteárico	0.4	0.43	0.49	0.51	nd	0.24	0.4	0.51	0.48	0.47
Oléico	60.52	60.3	65.29	62.1	63.2	63.9	65.4	63.54	63.53	61.81
Palmitoléico	9.87	9.95	7.3	9.8	8.57	9.03	7.38	8.49	7.58	7.91
Linoléico	9.57	9.8	10.02	9.72	9.1	8.3	10.31	9.58	10.12	11.54
Linolénico	0.48	0.48	0.96	0.49	0.51	0.47	0.96	0.86	0.81	0.9
Valor de acidez	6.4	6.38	5.29	4.23	3.00	2.67	2.26	1.34	1.04	0.79

La concentración de ácidos grasos en las muestras del aceite es la esperada por las muestras, teniendo un elevado porcentaje de ácidos grasos insaturados entre el 80.4 y 84.1% ocupando un mayor porcentaje el ácido oleico. También se puede

concluir que no hay un cambio significativo de la concentración de ácidos grasos como función de la temperatura, en el rango investigado; esta es una conclusión muy importante para el desarrollo del proceso.

También puede observarse en la tabla 5.8 que el índice de acidez se reduce significativamente de 6.4 a 0.79, estos resultados parecen normales ya que si se trabaja a temperatura baja el contenido de agua en el aceite extraído será mayor, mientras que a temperaturas superiores a 96°C el agua se evapora. También es importante señalar que un aceite es considerado comercialmente extra virgen solo si el índice de acidez es menor a 1.0.

Los resultados de las pruebas de laboratorio nos indican que se debe lavar y secar la materia prima y nos sugieren trabajar la etapa de extrusión a temperaturas superiores a 96°C ya que a esa temperatura se evapora el agua, rompiendo la emulsión agua-aceite y logrando índice de acidez menor a 1.0, sin necesidad de refinar si no mezclamos el hueso y la cáscara; por ello es necesario el despulpado.

Se realizaron pruebas de cromatografía a 6 muestras de aceites comerciales, que se exhiben como aceite extra virgen o 100% puro de aguacate. Los resultados se muestran en la tabla siguiente:

TABLA 5-9. RESULTADOS DE CROMATOGRAFÍAS REALIZADAS A MUESTRAS COMERCIALES

Ácido Graso	Aceites Comerciales					
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6
Palmítico	16.81	13.48	12.09	19.48	18.38	10.05
Esteárico	8.4	5.36	10.03	0.48	0.49	4.08
Oléico	48.18	30.73	61.96	59.42	61.07	47.08
Palmitoléico	12.99	8.80	1.9	9.51	7.35	4.43
Linoléico	13.34	11.14	0.43	9.76	9.99	31.22
Linolénico	0.28	30.49	13.59	1.35	2.72	3.14

En la tabla 5-9 puede observarse que hay una gran diferencia entre las fracciones de los ácidos grasos contenidos en las muestras comerciales, también se identificaron grandes diferencias organolépticas desde aceites sin color ni olor hasta

algunos con característica del aceite de aguacate, estas significativas diferencias se debe a la falta de normas oficiales que permite su comercialización. De hecho suponemos que algunas muestras ni siquiera tienen su origen en el aguacate.

5.2 DESARROLLO EN PLANTA PILOTO

Con la finalidad de continuar el desarrollo de la investigación para lograr definir un proceso con características industriales, se procedió a construir y operar una planta piloto concebida especialmente para evaluar las variables de operación y poder cuantificarlas, en la búsqueda de generar la información suficiente para diseñar una propuesta del proceso global e integrado de la extracción del aceite extra virgen de aguacate y el aprovechamiento de sus derivados.

5.2.1 ALMACENAMIENTO DE MATERIA PRIMA

La variedad de aguacate utilizada para el proceso de desarrollo en planta piloto es la variedad *Hass*, recolectado de las huertas certificadas del municipio de Nuevo Parangaricutiro.

Se adaptó un lugar seco y fresco dentro de la planta en las instalaciones de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo agrupando los frutos con semejante maduración.

5.2.2 LAVADO Y SECADO

Siguiendo el protocolo voluntario para la implementación de Buenas Prácticas Agrícolas y Buenas Prácticas de Manejo en los procesos de producción, cosecha y empaque de Aguacate variedad *Hass*, cada grupo pasó por la lavadora para frutas continua llevándose a cabo las siguientes etapas.

En la primera sección se llevó a cabo una desinfección donde la fruta se sumergió en una tina con solución preparada de hipoclorito de sodio (200 ppm)

durante 5 min. Después de transcurrido ese tiempo se accionó manualmente los rodillos que transportaron la fruta a una etapa de enjuague en la parte trasera de la sección de lavado donde se les adicionó únicamente agua fresca y posteriormente terminar en la segunda sección de secado.

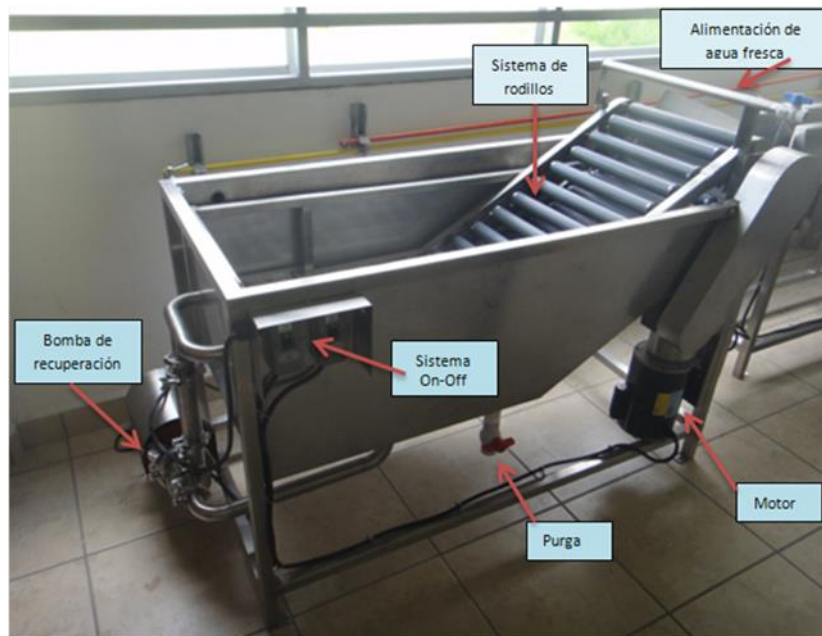


FIGURA 5-8. EQUIPO DE LAVADO

Transcurrido el secado la fruta pasó a ser almacenada en recipientes previamente secos y desinfectados con la misma solución preparada, ésta se dejó actuar durante 10 min.

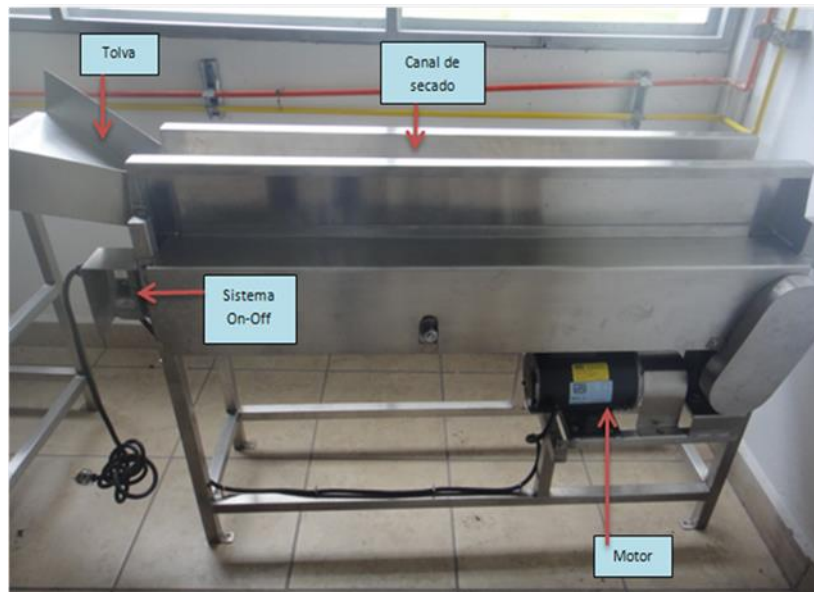


FIGURA 5-9. EQUIPO DE SECADO

Para esta etapa se usó un equipo con las características físicas y mecánicas que se describen en las tablas siguientes:

TABLA 5-10. CARACTERÍSTICAS DEL EQUIPO DE LAVADO

Dimensiones	145 cm X 66 cm X 87cm
Material de construcción	Acero inoxidable tipo 304 PVC
Motor	Monofásico 1 HP 0.746 KW 1750 RPM 60 Hz 220 V 6.83 A
Fluidos de operación	Agua Solución hipoclorito de sodio (200 ppm)
Bomba de recuperación	Monofásico 0.25 HP 0.187 KW 3540 RPM 60 Hz 127 V 5.4 A
Consumo energético	27 – 33 KWH/día

TABLA 5-11. CARACTERÍSTICAS DEL EQUIPO DE SECADO

Dimensiones	175 cm X 15.5 cm X 100cm
Material de construcción	Acero inoxidable tipo 304 Nylon
Motor	Monofásico 0.25 HP 0.373 KW 1740 RPM 60 Hz 220 V 4.6 A
Fluidos de operación	Agua Aire
Consumo energético	14 – 18 KWH/día

Las características de la alimentación en esta etapa son aguacates enteros recolectados de la huerta certificada del municipio de Nuevo Parangaricutiro con algunos daños físicos para resultar un producto de aguacates limpios fuera de cualquier agente microbiano.

5.2.3 SELECCIÓN DE FRUTO

Durante el tiempo de maduración, se observaron los cambios físicos que sufrió el aguacate variedad *Hass*. En los primeros 5 días no se observó ningún cambio aparente, el fruto mantuvo su textura dura y su cáscara verde sobre toda la superficie, a partir del día 7 se observaron los cambios en el color hasta el día 10, donde cambió su color de verde a café oscuro y luego a casi negro con una textura suave.



FIGURA 5-10. SELECCIÓN DE AGUACATES MADUROS

5.2.4 DESPULPADO

Al fruto limpio y en el estado de maduración apropiado se le retiró la cáscara y el hueso mediante una despulpadora de acero inoxidable.

TABLA 5-12. CARACTERÍSTICAS DEL EQUIPO DE DESPULPADO

Dimensiones	105 cm X 35 cm X 90 cm
Diámetro del cilindro	25 cm X 40 cm de largo
Material de construcción	Acero inoxidable tipo 304
Motor	Trifásico 2 HP 1.492 KW 1740 RPM 60Hz 460 V 2.8 A
Consumo energético	48 – 54 kWh/día

El proceso de despulpado fue estudiado a detalle por el Ingeniero Andrés Quintero, que investigó las mejores condiciones de velocidad, tamaño de malla e inclinación; incluyendo variables de ruido como el tamaño y grado de madurez del aguacate para obtener el mejor contenido de pulpa respecto de la masa total del aguacate. Encontrando que las mejores condiciones de operación son:

- Velocidad: 50 rpm
- Tamaño de malla: 0.5 cm

- Inclinación: 3°
- Índice de materia seca: 0.30 – 0.34
- Tamaño de la fruta: 90 g – 460 g
- $CP = \frac{\text{Cantidad de pulpa}}{\text{Cantidad de aguacate}} : 0.8161$

Los aguacates se agregaron en la tolva y se inició el proceso de despulpado, dentro de la despulpadora se usó una malla de 3 mm de diámetro donde alcanzó una textura cremosa la pulpa obtenida.

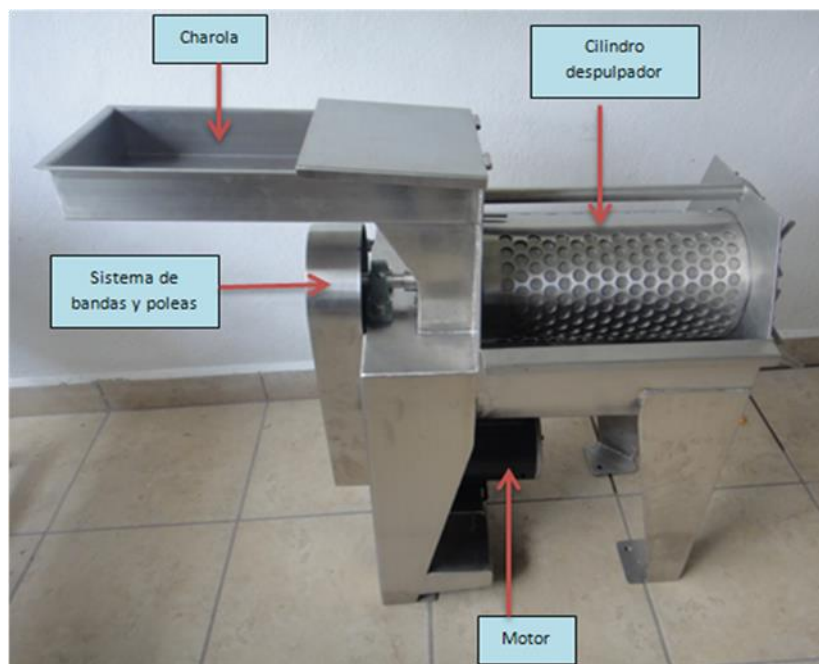


FIGURA 5-11. EQUIPO DE DESPULPADO

Dada la alta estabilidad del fruto durante el proceso, no se observaron cambios de color en la pulpa. La pulpa no presentó oxidación, lo que favoreció el proceso posterior.

5.2.5 EXTRUSIÓN

La pulpa sin hueso ni cáscara que salió del despulpador pasó al equipo de extrusión donde se llevó a cabo una separación física del aceite. El proceso de

extrusión fue investigado ampliamente por la Ing. Osiris Campos Tandi en su tesis titulada “Diseño experimental de la etapa de extrusión en el proceso de extracción de aceite extra virgen de aguacate” donde se evaluaron las variables de velocidad, temperatura de la pulpa, temperatura del medio de calentamiento, flujo de alimentación, condiciones ambientales, tiempo de extrusión para lograr la mayor cantidad de aceite separado de la fibra de aguacate; los resultados se describen a continuación:

- Presión de operación: 0.790 atm
- Velocidad: 18 rpm
- Temperatura de la pulpa: 60°C
- Temperatura del medio de calentamiento: 92°C
- Medio de calentamiento: Agua
- Tiempo de extrusión: 60 min
- Condiciones ambientales:
 - Temperatura: 24°C
 - Presión: 0.790 atm
 - Humedad relativa: 40 - 50%
- $CA = \frac{\text{Masa de aceite}}{\text{Masa de pulpa total}} : 0.1903$

Sin embargo estas condiciones permitieron obtener una mezcla de aceite-agua con índices de acidez moderadamente altos, por ello en esta investigación se modificó la operación del equipo, dicha modificación consistió en cambiar el motor por uno de mayor capacidad (1.5 HP) y el medio de calentamiento para utilizar aceite Power SAE 15W-40 en lugar de agua para alcanzar un mayor nivel de temperatura en la pasta con la finalidad de evaporar toda el agua y con ello evitar los tratamientos de refinación físico o químico.



FIGURA 5-12. EQUIPO DE EVAPORACIÓN - EXTRUSIÓN

Esta nueva modificación nos cambió el tiempo de operación; de hecho ahora el equipo funciona como un evaporador-extrusor, las condiciones de operación se modificaron de la siguiente manera:

- Presión de operación: 0.790 atm
- Velocidad: 11 rpm
- Temperatura de la pulpa: 96°C
- Temperatura del medio de calentamiento: 130°C
- Medio de calentamiento: Aceite Power SAE 15W-40
- Tiempo de extrusión: 240 min
- Condiciones ambientales:
 - Temperatura: 24°C
 - Presión: 0.790 atm
 - Humedad relativa: 40 - 50%

Bajo estas condiciones se logra una separación de 0.7 kg de cantidad de aceite respecto de una masa de 14.6 kg de aguacate, obteniéndose el porcentaje másico de 4.79% respecto al aguacate total procesado.

TABLA 5-13. CARACTERÍSTICAS DEL EVAPORADOR - EXTRUSOR

Dimensiones	130 cm X 45 cm X 120 cm
Material de construcción	Acero inoxidable tipo 304
Motor	Trifásico 1 HP 0.746 KW 1765 RPM 60 Hz 460 V 1.47 A
Fluidos de operación	Aceite Power SAE 15W - 40
Bomba	Trifásico 1 HP 0.75 KW 3450 RPM 60 Hz 220 V 4.3 A

Se utilizó la temperatura de ebullición del agua en la ciudad de Morelia como punto de control en esta etapa de separación.

Se aplicó una velocidad de rotor de 11 rpm durante un tiempo de 4 hr para eliminar la mayor parte del agua contenida en 6.120 kg de pulpa.



FIGURA 5-13. EXTRUSIÓN DE PULPA DE AGUACATE

5.2.6 CENTRIFUGACIÓN

Para lograr la centrifugación se adquirió una centrífuga con las siguientes características:

TABLA 5-14. CARACTERÍSTICAS DE LA CENTRIFUGA 1

Dimensiones	30 cm X 30 cm X 75 cm
Material de construcción	Acero inoxidable tipo 304
Velocidad	1500 RPM

Su finalidad es separar el aceite extra virgen de aguacate del producto que sale del evaporador-extrusor ya libre de agua.

Las variables a estudiar en la centrifugación son la velocidad, el tamaño de malla y el tiempo de operación, los resultados en esta etapa se describen a continuación:

- Velocidad = 1500 rpm
- Tiempo de operación = 60 min
- Malla = Manta de algodón



FIGURA 5-14. EQUIPO DE CENTRIFUGACIÓN 1

Períodos menores de 20 minutos de centrifugación no consintieron en una separación adecuada debido a que la torta de sólido retenida en la canasta queda con trazas de aceite, de tal forma que no se alcanzó a eliminar el total del aceite contenido en la pulpa de aguacate proveniente de la etapa de evaporación - extrusión.

Además la capacidad de retención de sólido de la centrífuga es aproximadamente de 200 g, esto nos limitó la cantidad de pulpa a centrifugar por lo que se adquirió una centrífuga de mayor capacidad.

La segunda centrífuga adquirida tiene las siguientes características:

TABLA 5-15. CARACTERÍSTICAS DE LA CENTRIFUGA 2

Dimensiones	45 cm X 45 cm X 110 cm
Material de construcción	Acero inoxidable tipo 304
Velocidad	3600 RPM

Con una centrífuga de mayor capacidad tanto en alimentación como en velocidad, se obtuvieron los siguientes resultados:

- Velocidad = 3600 rpm
- Tiempo de operación = 30 min
- Malla = Manta de algodón
- Porcentaje másico obtenido = 4.79% respecto del aguacate total



FIGURA 5-15. EQUIPO DE CENTRIFUGACIÓN 2

La capacidad de retención de sólido de la centrífuga es aproximadamente de 700 gr, dada la cantidad de pulpa adquirida se debe desocupar la canasta continuamente, por lo que es un procedimiento desgastante.



FIGURA 5-16. TORTA DE SÓLIDOS RETENIDOS EN LA CANASTA

En la figura 5-16 puede observarse la retención de sólidos en la canasta de la centrífuga, estos sólidos contienen aun pequeñas trazas de aceite que la centrifugación no separa.



FIGURA 5-17. OBTENCIÓN DE ACEITE MEDIANTE CENTRIFUGACIÓN

Se observa en la figura 5-17, el producto que resultó del proceso de separación usando la centrifugación. El aceite tiene su color, olor y sabor característicos de la materia prima. El sólido que quedó en el cilindro de la centrífuga tiene una humedad baja.

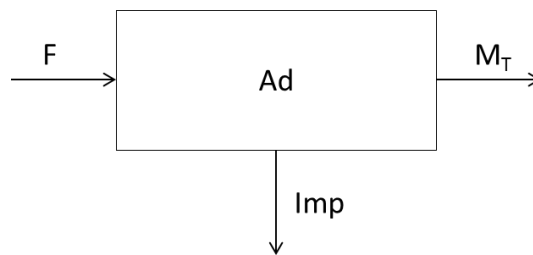
Las características del producto final obtenido son las siguientes:

a) Acido palmítico	--	15.45
b) Acido esteárico	--	0.45
c) Ácido oleico	--	62.3
d) Ácido palmitoléico	--	7.87
e) Ácido linoleico	--	11.43
f) Ácido linolénico	--	2.5
g) Valor de acidez	--	0.8
h) Humedad	--	0.28
i) Color	--	Verde intenso
j) Olor	--	Aceptable
k) Sabor	--	Agradable

5.3 BALANCES DE MATERIA Y RENDIMIENTOS DEL PROCESO

A continuación se muestran los balances de materia en cada una de las etapas del proceso que se realizó a nivel planta piloto para la determinación de los respectivos rendimientos.

5.3.1 BALANCE DE MATERIA EN DESPULPADORA



$$F = M_T + Imp + Ad$$

$$Ad = F - M_T - Imp$$

Donde:

F = Aguacate fresco que entra al proceso

M_T = Masa de pulpa total = Masa de pulpa limpia + Masa de inertes

Masa de inertes = Masa de cáscara y hueso contenida en la pulpa

Imp = Impurezas = Masa de cáscara y hueso

Ad = Acumulación dentro de la despulpadora

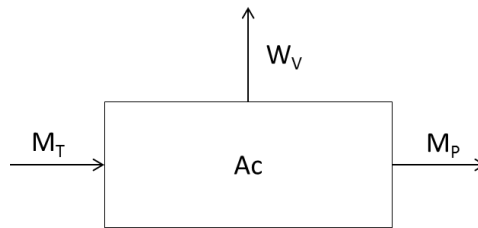
= Masa de pulpa + Masa de cáscara + Masa de hueso

$$Ad = 14.600 \text{ kg} - 6.120 \text{ kg} - 5.240 \text{ kg}$$

$$Ad = 3.240 \text{ kg}$$

$$\text{Rendimiento} = \frac{6.120 \text{ kg}}{(14.600 \text{ kg})(0.7565)} \times 100 = \boxed{55.41\%}$$

5.3.2 BALANCE DE MATERIA EN EL EVAPORADOR-EXTRUSOR



$$M_T = M_p + W_v + Ac$$

$$W_v + Ac = M_T - M_p$$

Donde:

M_p = Masa de pasta = Fibra + Aceite + Agua

W_v = Vapor de agua

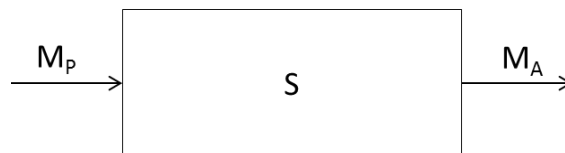
Ac = Acumulación dentro del extrusor

$$W_v + Ac = 6.120 \text{ kg} - 2.100 \text{ kg}$$

$$W_v + Ac = 4.020 \text{ kg}$$

$$\text{Rendimiento} = \frac{4.020 \text{ kg}}{(6.120 \text{ kg})(1 - 0.3279)} \times 100 = \boxed{97.73\%}$$

5.3.3 BALANCE DE MATERIA EN LA CENTRIFUGA



$$M_p = M_A + S$$

$$S = M_p - M_A$$

Donde:

M_A = Masa de aceite = Masa de aceite libre de fibra y agua

S = Sólidos retenidos en la canasta = Fibra + Aceite + Agua

$$S = 2.100 \text{ kg} - 0.700 \text{ kg}$$

$$S = 1.400 \text{ kg}$$

$$\text{Rendimiento} = \frac{0.700 \text{ kg}}{(2.1 \text{ kg}) \left(\frac{0.1395}{0.3279} \right)} \times 100 = 78.35\%$$

5.3.4 RENDIMIENTO GLOBAL

El porcentaje de aceite teórico extraído en el proceso de acuerdo a los datos de relación de índice de materia seca con respecto al porcentaje de aceite (Esteban, 1993), la pulpa empleada en la planta piloto contiene un 13.95% de aceite:

$$\begin{aligned} \text{Kg de aceite teórico} &= \frac{(0.1395 \text{ kg de aceite teórico})(6.120 \text{ kg de pulpa total})}{\text{kg de pulpa total}} \\ &= 0.854 \text{ kg aceite} \end{aligned}$$

El porcentaje de aceite extraído en el proceso:

$$CA = \frac{\text{Masa de aceite obtenido}}{\text{Masa de pulpa total}} \times 100 = \frac{0.700 \text{ kg de aceite obtenido}}{6.120 \text{ kg de pulpa total}} \times 100 = 11.44\%$$

El aceite real alcanzado (700 g) corresponde a una recuperación del 81.97% del total deseado de 854 g de aceite contenido en la pulpa procesada.

En la figura 5-12 se observa el proceso realizado para la extracción de aceite extra virgen de aguacate en planta piloto.

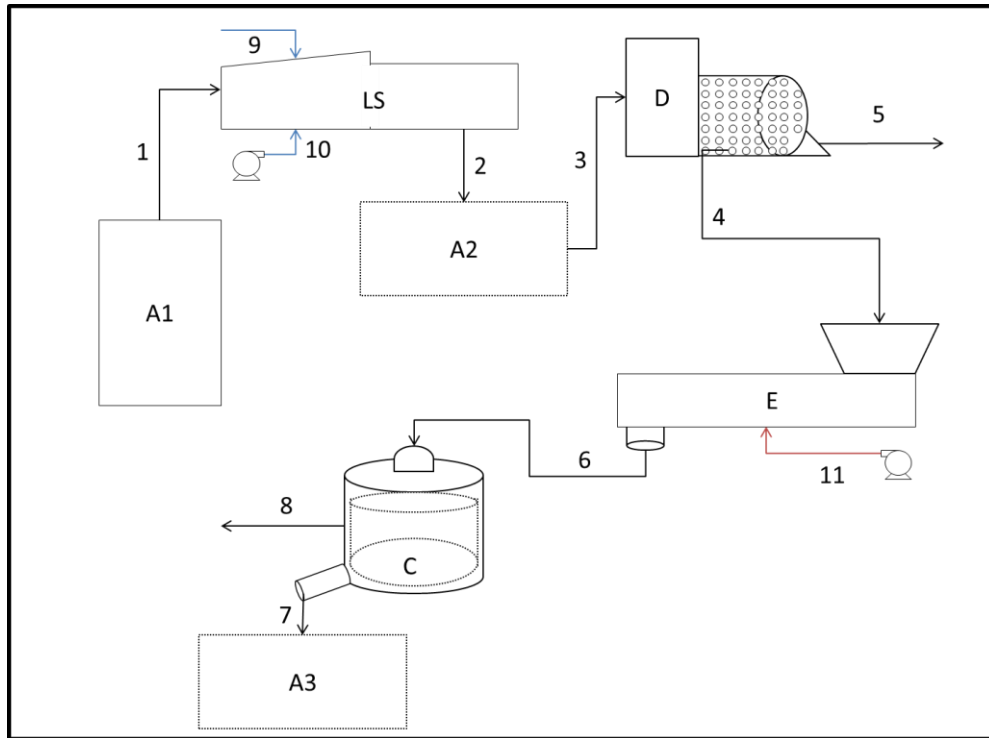


FIGURA 5-18. DIAGRAMA PRIMERO DE OPERACIONES PROPUESTO PARA LA EXTRACCIÓN DE ACEITE EXTRA VIRGEN DE AGUACATE

En la tabla 5-16 se puede prestar atención en las condiciones de los equipos manejadas durante el proceso, y en la tabla 5-17, están referidas las corrientes correspondientes de la figura anterior.

TABLA 5-16. CONDICIONES DE OPERACIÓN

EQUIPO	CONDICIONES
Almacen 1 (A1)	T = 18°C P = 0.790 atm
Lavado y secado (LS)	T = 18°C Hipoclorito de sodio 200 ppm t = 5 min lms = 0.26 – 0.28
Almacen 2 (A2)	T = 18°C P = 0.790 atm lms = 0.30 – 0.34
Despulpadora (D)	T = 18°C Malla de 3 mm V = 50 rpm Inclinación = 3° lms = 0.30 – 0.34
Evaporador - Extrusor (E)	P = 0.790 atm T pulpa = 96°C V = 11 rpm T medio = 130°C t = 4 h
Centrifuga (C)	t = 30 min V = 3600 rpm
Almacen 3 (A3)	T = 18°C VA = 0.80 AGI = 84.1% Rglobal = 4.79% respecto a la cantidad aguacate procesado

TABLA 5-17. DESCRIPCIÓN DE CORRIENTES

CORRIENTE	DESCRIPCIÓN
1	Aguacate entero verde
2	Aguacate lavado y seco
3	Aguacate limpio y maduro
4	Pulpa limpia de aguacate
5	Cáscara y hueso
6	Pulpa de aguacate seca
7	Aceite extra virgen de aguacate
8	Fibra de aguacate
9	Agua
10	Solución de hipoclorito de sodio (200 ppm)
11	Aceite de calentamiento

Para mejorar el rendimiento global se recomienda utilizar las condiciones de operación de la optimización de esta etapa obtenidas por el Ing. Andrés Quintero en su tesis titulada “Optimización de la etapa de despulpado para la obtención de aceite extra virgen de aguacate”.

Para lograr un mayor rendimiento del despulpador, se recomienda utilizar la centrifuga 1 con la finalidad de purificar la pulpa de aguacate producto del despulpado y evitar el olor a terpenos del aceite resultante de la etapa de centrifugación, ya que con el paso del tiempo se tuvo un ligero olor desagradable seguramente por la presencia de pequeñas cantidades de hueso y cáscara en la pulpa que no se eliminan por completo en la etapa de despulpado. Quedando un diagrama final con sus corrientes descritas de la siguiente manera:

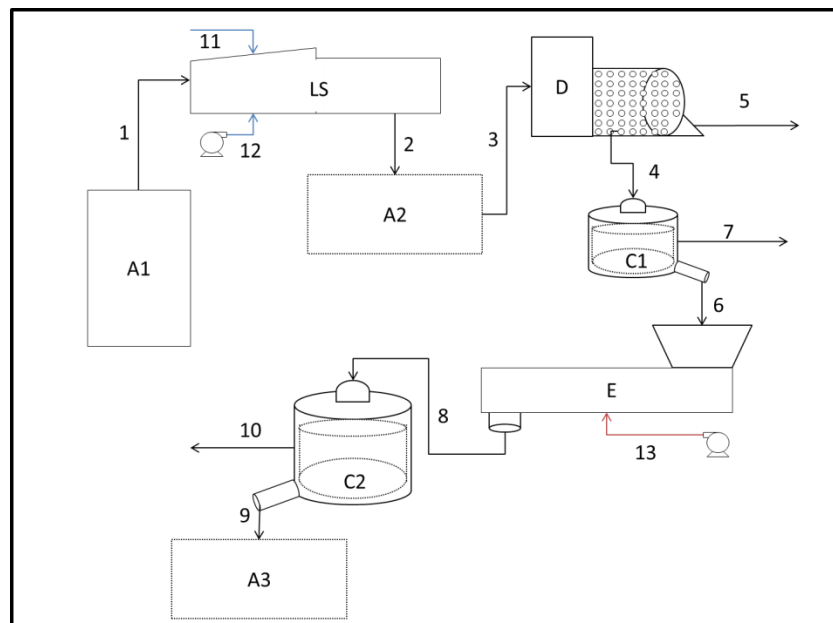


FIGURA 5-19. DIAGRAMA FINAL DE OPERACIONES PROPUESTO PARA LA EXTRACCIÓN DE ACEITE EXTRA VIRGEN DE AGUACATE

TABLA 5-18. CORRIENTES DESCRITAS DEL PROCESO FINAL

CORRIENTE	DESCRIPCIÓN
1	Aguacate entero verde
2	Aguacate lavado y seco
3	Aguacate limpio y maduro
4	Pulpa limpia de aguacate
5	Cáscara y hueso
6	Pulpa virgen de aguacate
7	Residuos de cáscara y hueso
8	Pulpa de aguacate seca
9	Aceite extra virgen de aguacate
10	Fibra de aguacate
11	Agua
12	Solución de hipoclorito de sodio (200 ppm)
13	Aceite de calentamiento

6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El estado de Michoacán es el mayor productor y vendedor de aguacate variedad *Hass* a nivel nacional e internacional esto permitió la facilidad de recolección de materia prima con la calidad adecuada para la obtención de aceite extra virgen de aguacate.

El manejo del cultivo del aguacate durante su cosecha y poscosecha determinan en alta proporción la calidad que puede tener el producto final. El aguacate madura fuera del árbol, sin embargo es necesario cosechar en el punto adecuado y permitir la adecuada maduración en poscosecha para su procesamiento, todo lo anterior determina la posibilidad de la extracción del aceite presente en la pulpa. Entre menor sea el estado de madurez de los frutos, estos tienen menor contenido de aceite. El tiempo aproximado de maduración está entre 8 y 16 días, el grado de madurez está relacionado con el índice de materia seca además del cambio de color que varía de verde a café oscuro.

El aguacate recolectado de las huertas del estado de Michoacán presentó una contaminación de heces fecales por tal motivo se inició con una etapa de lavado y secado resultando un fruto limpio y exento de cualquier agente patógeno, dañino para el consumo humano.

Es muy importante citar que los aguacates procesados deben estar libres de toxicidad, lo cual se verifica con los análisis de toxicidad de la fruta ya que el procesamiento no degrada las sustancias químicas que las contiene; afortunadamente hoy en día las normas vigentes de exportación obligan a verificar esta variable, el problema para el procesamiento puede ser cuando la materia prima proviene de la fruta destinada al mercado nacional.

El grado de madurez es un factor importante para iniciar el procesamiento del fruto, el rango adecuado para su tratamiento es entre 0.30 y 0.34 de índice de materia seca. Pasado este valor el aguacate comienza un procesamiento de descomposición y decae en la calidad de los ácidos grasos contenidos dentro de él.

Las pruebas de laboratorio nos arrojaron resultados interesantes, la temperatura no es un variable que afecte significativamente la concentración de los ácidos grasos contenidos en el aceite sin embargo la cantidad de agua contenida en la pulpa resultante del despulpado es una variable que nos fija la temperatura y el tiempo de la operación evaporación-extrusión. También las muestras nos generaron grados de acidez por arriba de lo que marca la norma para un aceite de calidad comestible esto debido a que inicio un proceso de ranciedad, unido al decaimiento de las cualidades sensoriales del aceite.

La temperatura de trabajo fue fijada por el punto de ebullición del agua en el equipo evaporador-extrusor, manteniendo las propiedades químicas del aguacate intactas, sin embargo el rendimiento que tenemos no fue favorable. Es importante mencionar que la variable de velocidad fue un factor importante en este equipo puesto que se necesitó disminuirla para que la pulpa tuviera más tiempo de contacto con el gusano del evaporador-extrusor y alcanzará la temperatura indicada.

El proceso de extracción de aceite extra virgen de aguacate propuesto permite eliminar la extracción con solvente y por consecuencia elimina la presencia de residuos químicos en el producto terminado, lo que determina que no pueden ser consumidos. Con todo esto disminuyen también los costos y la utilización de energía siendo un proceso más amigable con el medio ambiente.

Fueron determinadas las características físicas y químicas del aceite de aguacate obtenido tanto en el laboratorio como en la planta piloto; sus valores fueron comparados con los requisitos exigidos por las normas oficiales mexicanas de grasas y aceites comestibles, observándose el cumplimiento de estas normas. Esto permite verificar la excelente calidad del aceite extra virgen de aguacate obtenido.

El perfil de ácidos grasos muestra que el contenido de ácidos grasos insaturados en el aceite extra virgen de aguacate es mayor al del aceite de oliva, mientras que los ácidos grasos saturados están en menor proporción respecto al mismo. Tales cualidades favorecen su alta calidad, permitiendo una mayor digestión del producto en

el organismo favoreciendo el aumento de colesterol bueno y disminución del colesterol malo.

El desarrollo de la propuesta final del proceso de extracción de aceite extra virgen de aguacate que se presenta en esta investigación, a nivel industrial tiene altas oportunidades, debido a que es un producto de mayor valor agregado y dado que el producto cumple con las características fisicoquímicas, tiene una alta posibilidad de ser comercializado a nivel nacional e internacional, cabe señalar que el aceite obtenido no es expuesto en ningún momento al contacto con sustancias químicas dañinas al consumo humano, por lo que el aceite obtenido en esta investigación está enfocado al consumo gourmet.

Si la finalidad fuese obtener un aceite para el uso cosmético, el proceso requiere un tratamiento menos exigente y podría permitir la extrusión directa en frío en un decanter sin utilizar el despulpado y posteriormente realizar algún proceso de refinación.

6.1 RECOMENDACIONES

Implementar un proyecto que tenga como objetivo el diseño de un evaporador-extrusor vertical para facilitar el escape de vapor que se realiza en esta operación, disminuyendo el tiempo de operación y los costos de energía.

Sacar aprovechamiento de los desperdicios de cáscara y hueso (corriente 5 de la figura 5-19). Se realizó una investigación en el equipo de trabajo donde se obtuvo carbón activado de mediana calidad a partir del hueso de aguacate. Un proyecto de realizar una composta orgánica con estos desperdicios (corriente 5, 7 y 10 de la figura 5-19), puede ser otra alternativa ya que en la actualidad estos desperdicios se desechan a la tierra sin tratamiento y no se prevé la cantidad de microorganismos y bacterias que se generan en la tierra, generando un problema de contaminación ambiental al producir composta inoculada, esta se puede regresar a la tierra como

abono orgánico para el mismo cultivo de aguacate, lo que permite una asimilación muy rápida de los nutrientes.

La torta de sólidos retenidos en la canastilla de la centrifuga 2 (corriente 10 de la figura 5-19), al no contener cáscara y hueso pueden ser utilizados para la producción de tortillas de aguacate, generar una masa para la elaboración de mazapán de aguacate o el desarrollo de un proyecto económico para la recuperación de aceite mediante solventes para la industria de cosméticos.

7 ANEXOS

ANEXO 1: TÉCNICA PARA LA EVALUACIÓN DEL ÍNDICE DE ACIDEZ

DEFINICIÓN

El índice de acidez es el número de miligramos de hidróxido de potasio necesarios para neutralizar los ácidos grasos libres en 1 gr de la muestra.

i. Alcance

Este método es aplicable al alto hidrogeno (AH) y al Hidroquim-20

ii. Material

Matraces Erlenmeyer de 250 ml

iii. Soluciones

Alcohol etílico 95 %

Solución indicadora de fenolftaleína (Se disuelven 1 gr de fenolftaleína en 1000 ml de alcohol etílico).

Hidróxido de sodio en solución 0.1 N.

iv. Procedimiento

- A. Pesar 7.05 +/- 0.2 gr de muestra.
- B. Adicionar la muestra en un matraz de 250 ml el cual debe contener 50 ml de alcohol etílico.
- C. Calendar a ebullición ligera para lograr una Buena dilución.
- D. Se deja enfriar un poco y se adicionan de 3 a 5 gotas de fenolftaleína,

- E. Se procede a titular la muestra con NaOH hasta lograr el cambio de color a color rosa anotando el gasto de NaOH en la titulación.

v. Cálculos

% de ácidos grasos libres como ácido oleico = $(F * G) / W$

Donde:

F = cte. = normalidad de NaOH *56.1

G = gasto de NaOH 0.1 N en ml.

W = gramos de la muestra.

ANEXO 2: TÉCNICA PARA LA EVALUACIÓN DE LA HUMEDAD

DEFINICIÓN

Este método determina la humedad y otros materiales volátiles bajo las condiciones de esta prueba.

i. Alcance

Este método es aplicable a la grasa y aceites empleados como materias primas.

ii. Aparatos

Plato caliente eléctrico, con control de temperatura.

Vaso de precipitado de vidrio de 100 ml, bien otros similares.

iii. Procedimiento

- a) El agua tiende a establecerse en el fondo de las muestras las cuales han sido ablandadas o fundidas, hay que tener cuidado en mezclar la muestra para que toda el agua este distribuida uniformemente.
- b) Se pesa un vaso de precipitados de 100 ml limpio y seco, anotándose su peso.
- c) Se adiciona la muestra a analizar al vaso (debe adicionarse 18 +/- 2 gr de la misma) y se pesa nuevamente anotándose su peso.
- d) Se pone la muestra a calentar rotando el vaso con frecuencia hasta que se deje observar la presencia de burbujas o vapor en el vaso de precipitados, se enfría y se vuelve a pesar.

Nota: regular el calentamiento, colocar el botón de calentamiento hasta 120°C.

iv. Cálculos

% de humedad y materias volátiles = (% HMV)

(% HMV) = (pérdida de peso *100)/ peso muestra

ANEXO 3: TÉCNICA PARA LA EVALUACIÓN DE LA COMPOSICIÓN DE LOS ÁCIDOS GRASOS POR CROMATOGRAFÍA DE GASES

Definición

Los esteres metílicos de ácidos grasos son separados y determinados cuantitativamente por GLC usando una columna empacada.

i. Alcance

Este método es aplicable a esteres metílicos de ácidos grasos teniendo de 8 a 24 átomos de carbono y para grasas animales y ácidos grasos después de su conversión a esteres metílicos.

ii. Aparatos

- 1) Cromatógrafo de gases con detector de ionización de flama (FID).

Rango

Horno de columna

-99 a 450 °C

Inyector

0 a 450 °C

Detector

0 a 450 ° C

FID

100 a 450 ° C (incrementos de 1 °C)

- 2) Columna empacada con cromosorb waw, lavado de HMDS (Hexametil disilano), malla 100 -120, fase líquida dielén glicol succinato (DEGS) al 20% de acero inoxidable, diámetro 1/8" y longitud de 3mt.

- 3) Microgeringa Hamilton de capacidad 10 microlitros graduada en 0.1 microlitros.

iii. Procedimiento

A) Para ácidos grasos

Introduzca 5 gotas de ácido graso (140 -160 mg) al matraz Erlenmeyer y adicionar 5ml de BF₃metanol, conectar el condensador y refluir de 5 a min minutos, retirar el matraz y dejar enfriar. Trasferir a un embudo de separación y enjuagar el matraz con aproximadamente 12 ml de éter de petróleo y transferir al embudo de separación, taparlo y agitar 3 veces en espacio de 15 a 30segundos; dejar reposar. Desechar la parte acuosa y fase orgánica recibirla en un frasco ampolleta, calentar la solución a ebullición y evaporar de 1 a 2 ml. Quedando lista para la inyección.

8 REFERENCIAS

A., Ozdemir F. Topuz, 2004. Changes in dry matter, oil content and fatty acids composition of avocado during harvesting time and post-harvesting ripening period. Volumen 86.

A.M. Restrepo, et al, 2012. Comparación del aceite de aguacate variedad Hass cultivado en Colombia, obtenido por fluidos supercríticos y métodos convencionales: una perspectiva desde la calidad. Volumen 9.

Acuña , D. y otros, 2013. *Transferencia de tecnología para la obtención de aceite y derivados de aguacate*, Morelia: Informe final UMSNH-COFUPRO-SAGARPA-SEDRU.

Acuña, D., 2014. *Apuntes del curso de diseño de experimentos*. 1ra ed. Morelia: U.M.S.N.H..

Acuña, D., 2014. *Manual de diseño y análisis de experimentos*. 1ra ed. Morelia: Universidad Michoacana de San Nicolas de Hidalgo.

Alimentario, C. d. C., 2005. *CODEX STAN 197-1995. Norma del codex para el aguacate*. [Arte] (DOF. Diario Oficial de la Federación).

Alter, M. & Gutfinger, T., 1982. Phospholopids in several vegetable oils. Volumen 59.

ANIAME, 2002. El aceite de aguacate en México. Volumen 8(37).

Azadmard-Damirchi, S. y otros, 2010. Effect of pretreatment with microwaves on oxidative stability and nutraceuticals content of oil from rapeseed. *Food Chemistry*, 121(4), p. 1211–1215.

Botha, B., 2004. Supercritical fluid extraction of avocado oil. Volumen 27.

Campos Rojas, E., 2011. *Dinámica de la acumulación de ácidos grasos en aguacate (Persea americana Mill.) selección 'Méndez'*. Cairns, Australia, VII World Avocado Congress.

Campos, O., 2015. *Diseño experimental de la etapa de extrusión en el proceso de extracción de aceite extra virgen de aguacate*. Morelia: Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Facultad de Ingeniería Química.

Costa, V., 2001. *Extracción Enzimática y Caracterización del Aceite de Palta*. Santiago. Chile: Facultad de Ciencias Agronómicas. Escuela de Agronomía, Universidad de Chile.

Curiel, M. & Neve-Oz, P., 1985. *Process for the recovery of oil from avocado fruit*. Israel, Patente nº 04560568.

Daniel, A., 1979. Action des insaponifiables d'avocat et de soja sur. Volumen 86.

Davis, R. H., 1984. *Extraction of avocado oil from avocados*. California, Patente nº 4444763.

DOF, Dirección General de Normas, 1981. *Determinación del índice de saponificación en aceites y grasas vegetales o animales*. México: Alimentos para humanos.

DOF, Dirección General de Normas, 1981. *Determinación del índice de yodo por el método de Wijs*. México: Alimentos para humanos. Aceites y grasas vegetales o animales.

DOF, Dirección General de Normas, 1987. *Determinación de humedad y materia volátil*. México: Alimentos. Aceites y grasas vegetales o animales.

DOF, Dirección General de Normas, 1987. *Determinación de la densidad relativa en aceites y grasas vegetales o animales*. México: Alimentos.

DOF, Dirección General de Normas, 1987. *Determinación del índice de acidez*. México: Alimentos. Aceites y grasas vegetales o animales.

DOF, Dirección General de Normas, 1987. *Determinación del índice de peróxido*. México: Alimentos. Aceites y grasas vegetales o animales.

Dorantes, L. & Ortiz, A., 2001. *Comparación de varios métodos para la obtención de aceite de aguacate empleando microondas*. Valencia, Congreso Iberoamericano de Ingeniería de Alimentos.

Dorantes, L. & Ortiz, A., 2005. *Método para la obtención de aceite extra virgen de la pulpa de aguacate y una pasta residual baja en calorías con menor contaminación ambiental*. México, Patente nº 006446.

Dupaigne, P., 1970. *Une nouvelle specialite pharmaceutique: L'insaponifiable de l'huile d'avocat*. s.l.:Fruits 25.

Esteban, P., 1993. *Estimación del contenido de aceite a través de la humedad y su relación palatabilidad en frutos de palta de las variedades Negra de la Cruz, Bacon, Edranol y Hass, desde la última etapa de desarrollo hasta la madurez fisiológica*, Quillota: Tesis Ing. Agr. U. Católica de Vaoparaiso. Escuela de Agronomía.

Fawcett, I., 2004. *Análisis de extracción de aceite de aguacate por métodos físicos y evaluación de una producción a gran escala*. Bogotá: Departamento de Ingeniería Química. Universidad de los Andes.

Financiera Rural, 2012. *Acopio y empaque de aguacate*, Morelia: Secretaría de Economía.

Finol, H., 2007. [En línea] Available at: <http://www.mailxmail.com/cursoPdf.cfm?gfnameCurso=alimentos-tecnicas-procesos-conservacion> [Último acceso: Enero 2016].

Geissen, K., Dr. Hruschka, S. & Venegas, J. A., 2005. *Process and plant for oil extraction from fruits and seeds*. s.l. Patente nº EP 1260571 B1.

Gómez, M. & Mora, C., 1982. Extracción de aceite de aguacate. Volumen 6.

J. Franco, S. R., 1998. *Extracción y purificación del aceite de aguacate*, Bogotá: Departamento de Ciencias. Facultad de Química. Corporación Autónoma de Colombia.

J. Werman, I. N., 1987. Avocado oil production and chemical characteristics. *Journal of the American Oil Chemists's Society*, Volumen 64, pp. 229-232.

Jiménez, E., Aguilar, M. & Zambrano, L. y. K. E., 2001. Propiedades físicas y químicas del aceite de aguacate obtenido de puré deshidratado por microondas. Volumen 45 no. 2.

JLSV, 2014. *Programa de inocuidad de las Juntas Locales de Sanidad Vegetal de Nuevo Parangaricutiro*, s.l.: Sagarpa.

JLSV, P., 2015. [Entrevista] (29 Enero 2015).

Lewis, C., Morris, R. & O'brien, K., 1978. The oil content of avocado mesocarp. Volumen 29.

M., S., 1983. Trans unsaturated fatty acids in natural products and processed foods. Volumen 22.

MADR, 2005. La cadena de oleaginosas, grasas y aceites en Colombia. En: *Observatorio Agrocadenas Colombia*. Bogotá: s.n.

Mapa de ruta: cosméticos derivados de aguacate (2012).

Marques, J., 2011. *Como almacenar frutos de aguacate 'Hass' parcialmente maduros*. Cairns, Australia, VII Worl Avocado Congress.

Martel, J.-P. & Farcot, O., 2002. *Method and apparatus for the integrated upgrading of oil-bearing drupes, especially olives and the products resulting therefrom*. Francia, Patente nº EP 1211303 A1.

Martinez Nieto, L., Camacho Rubio, F., Rodríguez Vives, S. & Moreno Romero, M., 1988. Extracción y caracterización del aceite de aguacate. Volumen 39.

Martínez, M., 2002. *La refinación del aceite de aguacate*, Bogotá: Facultad de Ingeniería. Universidad de los Andes.

Mataix, J., Palomeque, F., Carpio, A. & Rofríguez, G., 2009. *El aceite de oliva: su obtención y propiedades*. Tercera ed. s.l.:Fundación el olivar.

Montgomery, D., 1992. *Diseño y análisis de experimentos*. Tercera Edición ed. México: Grupo Editorial Iberoamérica.

Mora, G. J., 2006. [En línea] Available at: <http://www.mailxmail.com/curso-productos-auxiliares-cocina/tipos-aceites-mas-comunes-mercado>

Olaeta, J. A., 2003. *Industrialización del aguacate: estado actual y perspectivas futuras*. Chile, Actas V Congreso Mundial del Aguacate.

Oleaginosas, Comité Nacional Sistema Producto, 2001. Buenos pronósticos para el cultivo de oleaginosas en México. *Oleaginosas en cadena*, Volumen 38.

Ortiz Moreno, A., Dorantes Álvarez, L. & Galindez, J. C. J., 2003. *Desarrollo de un proceso para la obtención de aceite de aguacate de alta calidad empleando una tecnología emergente*, México: PNCTA. Instituto Politécnico Nacional.

Ovando, C. & Waliszewski, K., 2005. Preparativos de Celulasas comerciales y aplicaciones en procesos extractivos. Volumen 21 no. 42.

Pacheco, I. R., 2015. *Platicas personales* [Entrevista] 2015.

Piedra Najera, P. Y., 2013. *Obtención de aguacate deshidratado utilizando calentamiento solar*, Morelia: Universidad Michoacana de San Nicolas de Hidalgo. Facultad de Ingeniería Química.

Platt, K. a. W. T., 1992. Idioblast oil cells of avocado: Distribution, isolation, ultrastructure, histochemistry and biochemistry. Volumen 153(3).

PROHACIENDO, Corporación para la promoción del desarrollo rural y agroindustrial del Tolima, 2001. *El cultivo de aguacate*, Ibagué: Módulo para el desarrollo tecnológico de la comunidad rural, Ibagué.

Quintero, A., 2015. *Diseño experimental de la etapa de despulpado en el proceso de extracción de aceite extra virgen de aguacate*. Morelia: Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Facultad de Ingeniería Química.

Requejo, C. y otros, 2003. *Aceite de aguacate por presión en frío. Una novedad saludable*. Nueva Zelanda, Congreso Mundial del Aguacate V.

Reyes, B., Martínez, L. & García, M., 2014. *Deshidratación de rebanadas de aguacate Hass*, Morelia: Curso de titulación, Diseño de Experimentos.

Rojas, D. & Acosta, M., 2006. *Evaluación de la extracción vía enzimática del aceite de aguacate*. Bogotá: Facultad de Ingeniería. Departamento de Ingeniería Química, Universidad Nacional de Colombia,.

SAGARPA, 2011. *Monografía de los cultivos. Aguacate*, México: Gobierno Federal.

Secretaría de Economía, 2012. *Monografía del sector aguacate en México: situación actual y oportunidades de mercado*, México: Dirección General de Industrias Básicas.

Secretaría de Economía, 2015. *Michoacán es líder nacional en la producción de aguacate*, México: s.n.

Secretaría de Salud, SS, 2014. s.l.: s.n.

SFA, Subsecretaría de Fomento a los Agronegocios, 2011. Monografía del Aguacate. En: *Monografía de Cultivos*. México: s.n.

Taguchi, G., 1990. *Introduction to quality engineering*. Tokyo: Asian Productivity Organization.

Team Foods, 2014. *Procedimiento de refinación química. Aceites crudos*, Morelia: Sistemas de gestión.

Valentin, R. G., 2010. *Extracción del aceite de calabaza*, Habana: Revista Cubana de Plantas Medicinales.

Villafán, K., Ortiz, C. & Bonales, J., 2007. 2. *ESTRATEGIAS DE EXPORTACIÓN DE AGUACATE ORGÁNICO MICHOACANO*. Viña Del Mar, Chile, s.n.