



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Química

**EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO Y CALIDAD DEL ACEITE FIJO DE
PULPA DE AGUACATE (*Persea americana Hass*) OBTENIDO POR
PRESIÓN EN FRÍO EN FUNCIÓN DEL PROCESO DE SECADO**

Jorge Antonio Doradea Cruz

Asesorado por la Inga. Telma Maricela Cano Morales e
Ing. Mario José Mérida Meré

Guatemala, mayo de 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO Y CALIDAD DEL ACEITE FIJO DE
PULPA DE AGUACATE (*Persea americana Hass*) OBTENIDO POR
PRESIÓN EN FRÍO EN FUNCIÓN DEL PROCESO DE SECADO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

JORGE ANTONIO DORADEA CRUZ

ASESORADO POR LA INGA. TELMA MARICELA CANO MORALES E
ING. MARIO JOSÉ MÉRIDA MERÉ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO QUÍMICO

GUATEMALA, MAYO DE 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
VOCAL V	Br. Sergio Alejandro Donis Soto
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO


DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Federico Guillermo Salazar Rodríguez
EXAMINADOR	Ing. Jaime Domingo Carranza González
EXAMINADORA	Inga. Dina Lisette Estrada Moreira
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

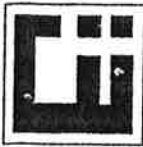
HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO Y CALIDAD DEL ACEITE FIJO DE PULPA DE AGUACATE (*Persea americana Hass*) OBTENIDO POR PRESIÓN EN FRÍO EN FUNCIÓN DEL PROCESO DE SECADO

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha 6 de septiembre del 2011.


Jorge Antonio Doradea Cruz



Guatemala, 02 de Octubre de 2012

Ingeniero
Victor Manuel Monzón Valdez
Director Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala
Presente.

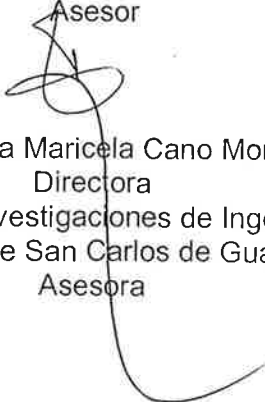
Ingeniero Monzón:

Por medio de la presente HACEMOS CONSTAR que hemos revisado y dado nuestra aprobación al informe final del trabajo de graduación **“EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO Y CALIDAD DEL ACEITE FIJO DE PULPA DE AGUACATE (*Persea americana Hass*) OBTENIDO POR PRESIÓN EN FRIO EN FUNCIÓN DEL PROCESO DE SECADO”**, del estudiante de Ingeniería Química Jorge Antonio Doradea Cruz quien se identifica con el carné número 2006-14887.

Sin otro particular me suscribo de usted.

Atentamente

Ing. Mario José Mérida Meré
Coordinador
Laboratorio de Investigación
de Extractos Vegetales -LIEXVE-
Sección Química Industrial CII / USAC
Asesor


Inga. Telma Maricela Cano Morales
Directora
Centro de Investigaciones de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala
Asesora





Guatemala, 29 de noviembre de 2012
 Ref. EI.Q.TG-IF.063.2012

Ingeniero
Víctor Manuel Monzón Valdez
 DIRECTOR
 Escuela Ingeniería Química
 Facultad de Ingeniería

Estimado Ingeniero Monzón:

Como consta en el Acta TG-098-2010-IF le informo que reunidos los Miembros de la Terna nombrada por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del:

INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADUACIÓN

Solicitado por el estudiante universitario: **Jorge Antonio Doradea Cruz**

Identificado con número de carné: **2006-14887**

Previo a optar al título de INGENIERO QUÍMICO.

Siguiendo los procedimientos de revisión interna de la Escuela de Ingeniería Química, los Miembros de la Terna han procedido a **APROBARLO** con el siguiente título:

EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO Y CALIDAD DEL ACEITE FIJO DE PULPA DE AGUACATE (*Persea americana* Hass) OBTENIDO POR PRESIÓN EN FRIO EN FUNCIÓN DEL PROCESO DE SECADO

El Trabajo de Graduación ha sido asesorado por los Ingenieros Químicos: **Mario José Mérida Meré y Telma Maricela Cano Morales.**

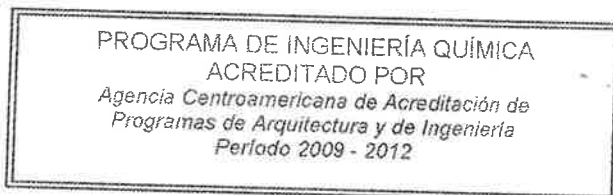
Habiendo encontrado el referido informe final del trabajo de graduación **SATISFACTORIO**, se autoriza al estudiante, proceder con los trámites requeridos de acuerdo a las normas y procedimientos establecidos por la Facultad para su autorización e impresión.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

Ing. César Alfonso García Guerra
 COORDINADOR DE TERNA
 Tribunal de Revisión
 Trabajo de Graduación



C.c.: archivo



ACAAI



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

Ref.EIQ.TG.108.2013

El Director de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor y de los Miembros del Tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química para revisar el Informe del Trabajo de Graduación del estudiante, **JORGE ANTONIO DORADEA CRUZ** titulado: **"EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO Y CALIDAD DEL ACEITE FIJO DE PULPA DE AGUACATE (*Persea americana Hass*) OBTENIDO POR PRESIÓN EN FRÍO EN FUNCIÓN DEL PROCESO DE SECADO"**.
Procede a la autorización del mismo, ya que reúne el rigor, la secuencia, la pertinencia y la coherencia metodológica requerida.


Ing. Víctor Manuel Monzón Valdez
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química



Guatemala, mayo 2013

Cc: Archivo
VMMV/ale

PROGRAMA DE INGENIERÍA
QUÍMICA ACREDITADO POR
Agencia Centroamericana de Acreditación de
Programas de Arquitectura y de Ingeniería
Período 2013 - 2015





El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al trabajo de graduación titulado: **EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO Y CALIDAD DEL ACEITE FIJO DE PULPA DE AGUACATE (Persea americana Hass) OBTENIDO POR PRESIÓN EN FRÍO EN FUNCIÓN DEL PROCESO DE SECADO**, presentado por el estudiante universitario **Jorge Antonio Doradea Cruz**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Murphy Olympo Paiz Récinos
Decano



Guatemala, mayo de 2013

/cc

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por darme la sabiduría y la paciencia de cumplir esta meta.
Virgen María	Por ser la madre intercesora en todo el transcurso de mi carrera.
Mi abuela	Flor de María Guerra, por ser fuente de mi inspiración y enseñarme que el que persevera alcanza, gracias por estar en los buenos y malos momentos por 23 años de mi vida.
Mi papá	Jorge David Doradea Guerra, por el apoyo moral y económico en el transcurso de la carrera.
Mi mamá	Yoise Georgina Cruz Hernández, por estar siempre a mi lado y por su paciencia.
Mis hermanas	Ingrid Walezka y Katherine Mishelle Doradea Cruz, por valorar mi esfuerzo.
Mis tíos	Sonia Doradea, Verónica Doradea, Flor de María Guerra y Bonerge Mejia, por sus sabios consejos y estar siempre pendientes.

Mis primos

Iris Andrea Mejía, Cristian Mejía, Claudia Gómez, Mónica Mejía, Gabriela Gómez, Alexander Mejía, Silvia Morales y Yorik Campos; por estar conmigo en el transcurso de mi vida y de mi carrera.

Mis amigos del colegio

Patricia Mata, Adriana Álvarez, Claudia Argueta, y Roxsana Paniagua; por que me han demostrado que con los años las amistades se fortalecen.

Mis amigos de la universidad

Sofía Corado, Alicia García, Jorge Santacruz, Luis López, Luz Figueroa, Eliet Areas, Braulio González, Adolfo de la Cruz, Paola Mendía, Adreana Hernández, Ana Herrera, Doris Vega y Silda González, por que terminamos esta fase de nuestras vidas y creo que fueron las mejores personas que llegue a conocer en la universidad.

AGRADECIMIENTOS A:

La Universidad de San Carlos de Guatemala	Por darme un respaldo de 336 años de experiencia en enseñanza académica.
Facultad de Ingeniería	Por brindarme la oportunidad de ampliar mis conocimientos en distintas ramas.
Centro de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería	Por brindarme sus instalaciones para realizar este proyecto.
Inga. Telma Cano e Ing. Mario Mérida	Por su apoyo en el desarrollo del Trabajo de Graduación.
Ing. Cesar García	Por su asesoría en este proyecto.
Julio Crespo	Por su asesoría y acompañamiento en el desarrollo de este proyecto.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	VII
LISTA DE SÍMBOLOS	XIII
GLOSARIO	XV
RESUMEN	XIX
OBJETIVOS / HIPÓTESIS.....	XXI
INTRODUCCIÓN	XXV
1. ANTECEDENTES	1
2. MARCO TEÓRICO.....	15
2.1. Historia del origen del aguacate	15
2.2. Especies del género <i>Persea</i>	18
2.3. Morfología y taxonomía del aguacate.....	19
2.4. Características.....	20
2.5. Usos	24
2.6. Beneficios.....	24
2.7. Variedades importantes.....	25
2.7.1. Variedad Hass	25
2.8. Manejo agronómico.....	27
2.8.1. Viveros.....	27
2.8.2. Propagación	27
2.9. Aceite de aguacate.....	28
2.10. Otros productos de aguacate	29
2.11. Lípidos.....	30
2.11.1. Características generales	30

2.11.2.	Clasificación biológica	31
2.11.2.1.	Lípidos saponificables.....	31
2.12.	Pardeamiento enzimático.....	33
2.12.1.	Enzima polifenoloxidasa.....	33
2.12.2.	Enzima peroxidasa.....	34
2.12.3.	Prevención del pardeamiento enzimático.....	35
2.12.3.1.	Escaldado	35
3.	DISEÑO METODOLÓGICO	39
3.1.	Variables	39
3.1.1.	Definición operacional de las variables	39
3.1.2.	Variables independientes	40
3.1.3.	Variables dependientes.....	40
3.2.	Delimitación del campo de estudio.....	42
3.3.	Recursos humanos disponibles	42
3.4.	Recursos materiales disponibles y equipo	43
3.4.1.	Materia prima y reactivos	44
3.4.2.	Equipo.....	45
3.4.2.1.	Equipo de laboratorio químico	45
3.4.2.2.	Equipo de extracción por método de solventes a partir de la pulpa de aguacate seca.....	46
3.4.3.	Extracción de aceite fijo de pulpa de aguacate (<i>Persea americana Hass</i>) por medio de prensado en frío con prensa tipo Carver.....	46

3.4.4.	Extracción de lixiviación en caliente soxhlet	47
3.4.5.	Cromatografía de gases aplicada a espectrometría de masas	47
3.5.	Técnica cuantitativa.....	47
3.6.	Recolección y ordenamiento de la información	48
3.7.	Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información.....	49
3.7.1.	Extracción de aceite fijo de aguacate (<i>Persea americana Hass</i>) con la pulpa utilizando prensa tipo Carver	49
3.7.2.	Extracción de lixiviación en caliente soxhlet	49
3.7.3.	Humedad y materia volátil NMX F-211-SCFI-2006	51
3.7.4.	Impurezas indeseables, olor NMX-F-473-SCFI-2006	52
3.7.5.	Solubilidad de grasas	54
3.7.6.	Determinación de los índices de calidad de los aceites.....	55
3.7.6.1.	Método de índice de yodo por Wijs (Método Oficial AOCS Cd 1-25)	55
3.7.6.2.	Método de Índice de Saponificación (Método oficial AOCS Cd3-25)	59
3.7.7.	Método de número de acidez (Método oficial AOCS Ca5a-40)	61

3.7.8.	Materia insaponificable (Método oficial AOCS Ca6a-40)	65
3.7.9.	Índice de peróxidos por el método acético – cloroformo (Método Oficial AOCS Cd8-53)	67
3.7.10.	Método de cuantificación de ceras (Método oficial AOCS).....	72
3.7.11.	Determinación de gomas (Método oficial AOCS).....	74
3.7.12.	Prueba de frío para aceites (Método oficial AOCS Cc11-53)	76
3.7.13.	Porcentaje de jabón en los aceites por el método de titulación (Método oficial AOCS Cc17-79).....	78
3.7.14.	Valor de p-anisidina (Método oficial AOCS Cd18-90)	80
3.7.15.	Valor de Totox (Método oficial Alfa Lava).....	82
3.7.16.	Fosfolípidos en aceites vegetales por el Método Nephelmétrico (Método Oficial AOCS Ca19-86)	83
3.7.17.	Punto de fusión basado en el método oficial AOCS Cc2-36	87
3.7.18.	Valor de Totox basado en el método oficial Alfa Laval	89
3.7.19.	Índice de DOBI basado en el método original Tirtiaux.....	90
3.7.20.	Determinación de metales pesados Fe Zn; Cu Pb; basado en el método oficial de adaptación-Kit de Merck.....	92

3.7.21.	Perfil de ácidos grasos por cromatografía gaseosa basado en el método oficial Ce-1-62	92
3.7.22.	Cromatografía de gases aplicado a espectrometría de masas	96
3.7.23.	Índice de refracción a 22,5 °C.....	96
3.7.24.	Prueba de inflamabilidad	96
3.8.	Análisis estadístico	97
4.	RESULTADOS	99
5.	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	123
	CONCLUSIONES	129
	RECOMENDACIONES	131
	BIBLIOGRAFÍA	133
	APÉNDICES	137
	ANEXOS	193

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Jeroglífico del poblado de Ahuacatlán	16
2.	Distribución del aguacate después de la conquista en el mundo antes de 1915	17
3.	Aguacate (<i>Persea americana Hass</i>)	26
4.	Diseño general de la técnica cuantitativa	48
5.	Curva de secado para las muestras de aguacate (<i>Persea americana Hass</i>) con tratamiento de ácido fosfórico	99
6.	Curva de secado para las muestras de aguacate (<i>Persea americana Hass</i>) con tratamiento de sulfito de sodio	100
7.	Comparación del rendimiento obtenido del aceite fijo de pulpa de aguacate (<i>Persea americana Hass</i>) con la materia inicial en función de la materia seca, para ambos tratamientos	100
8.	Comparación del rendimiento obtenido del aceite fijo de pulpa de aguacate (<i>Persea americana Hass</i>) con la materia inicial en función de la extracción Soxhlet, para ambos tratamientos	101
9.	Comparación del rendimiento obtenido del aceite fijo de pulpa de aguacate (<i>Persea americana Hass</i>) con la materia seca en función de la extracción Soxhlet, para ambos tratamientos	101

10.	Diagrama de caja y alambre para la comparación de dos muestras emparejadas utilizando t de student para el análisis de acidez del aceite fijo de pulpa de aguacate (<i>Persea americana Hass</i>)	102
11.	Diagrama de caja y alambre para la comparación de dos muestras emparejadas utilizando t de student para el análisis del índice de peróxido del aceite fijo de pulpa de aguacate (<i>Persea americana Hass</i>)	102
12.	Diagrama de caja y alambre para la comparación de dos muestras emparejadas utilizando t de student para el análisis del índice de yodo en el aceite fijo de pulpa de aguacate (<i>Persea americana Hass</i>)	103
13.	Diagrama de caja y alambre para la comparación de dos muestras emparejadas utilizando t de student para los valores de p - anisidina del aceite fijo de pulpa de aguacate (<i>Persea americana Hass</i>)	103
14.	Diagrama de caja y alambre para la comparación de dos muestras emparejadas utilizando t de student para los valores de totox del aceite fijo de pulpa de aguacate (<i>Persea americana Hass</i>)	104
15.	Diagrama de caja y alambre para la comparación de dos muestras emparejadas utilizando t de student para los valores de DOBI del aceite fijo de pulpa de aguacate (<i>Persea americana Hass</i>)	104
16.	Diagrama de caja y alambre para la comparación de dos muestras emparejadas utilizando t de student para los valores de humedad del aceite fijo de pulpa de aguacate (<i>Persea americana Hass</i>)	105

17.	Diagrama de caja y alambre para la comparación de dos muestras emparejadas utilizando t de student para los valores de fósforo del aceite fijo de pulpa de aguacate (<i>Persea americana Hass</i>)	105
18.	Diagrama de caja y alambre para la comparación de dos muestras emparejadas utilizando t de student para los valores de fosfátidos del aceite fijo de pulpa de aguacate (<i>Persea americana Hass</i>)	106
19.	Diagrama de caja y alambre para la comparación de dos muestras emparejadas utilizando t de student para los valores de ceras del aceite fijo de pulpa de aguacate (<i>Persea americana Hass</i>)	106
20.	Diagrama de caja y alambre para la comparación de dos muestras emparejadas utilizando t de student para los valores de jabón del aceite fijo de pulpa de aguacate (<i>Persea americana Hass</i>)	107
21.	Diagrama de caja y alambre para la comparación de dos muestras emparejadas utilizando t de student para los valores del índice de saponificación del aceite fijo de pulpa de aguacate (<i>Persea americana Hass</i>)	107
22.	Diagrama de caja y alambre para la comparación de dos muestras emparejadas utilizando t de student para los valores de la cantidad de gomas presente en el aceite fijo de pulpa de aguacate (<i>Persea americana Hass</i>)	108
23.	Diagrama de caja y alambre para la comparación de dos muestras emparejadas utilizando t de student para los valores de densidad del aceite fijo de pulpa de aguacate (<i>Persea americana Hass</i>)	108

24.	Diagrama de caja y alambre para la comparación de dos muestras emparejadas utilizando t de student para los valores de viscosidad del aceite fijo de pulpa de aguacate (<i>Persea americana Hass</i>)	109
25.	Diagrama de caja y alambre para la comparación de dos muestras emparejadas utilizando t de student para los valores del punto de ebullición del aceite fijo de pulpa de aguacate (<i>Persea americana Hass</i>)	109
26.	Diagrama de caja y alambre para la comparación de dos muestras emparejadas utilizando t de student para los valores del índice de refracción del aceite fijo de pulpa de aguacate (<i>Persea americana Hass</i>)	110
27.	Diagrama de caja y alambre para la comparación de dos muestras emparejadas utilizando t de student para los valores del rendimiento obtenido del aceite fijo de pulpa de aguacate (<i>Persea americana Hass</i>) en función de la muestra sin deshidratar	110
28.	Diagrama de caja y alambre para la comparación de dos muestras emparejadas utilizando t de student para los valores del rendimiento obtenido del aceite fijo de pulpa de aguacate (<i>Persea americana Hass</i>) en función a la muestra deshidratada	111
29.	Imagen del análisis cromatográfico de la muestra de aceite fijo de aguacate (<i>Persea americana Hass</i>) con tratamiento de ácido fosfórico previo a la extracción	118
30.	Imagen del análisis cromatográfico de la muestra de aceite fijo de aguacate (<i>Persea americana Hass</i>) con tratamiento de sulfito de sodio previo a la extracción	119

TABLAS

I.	Composición del aguacate (<i>Persea americana Hass</i>)	22
II.	Composición nutricional del aguacate de la variedad Hass por cada 100 gramos de pulpa	22
III.	Datos fisicoquímicos del aceite de aguacate a partir de frutos maduros, estabilizado contra el enranciamiento con antioxidante	23
IV.	Variedades de aguacate aptas para el cultivo en las diferentes altitudes	25
V.	Niveles de madurez del aguacate (<i>Persea americana Hass</i>)	43
VI.	Relación de índices de yodo contra peso de muestra a utilizar	57
VII.	Relación entre el porcentaje de ácidos grasos libres y la concentración de la solución titulante	63
VIII.	Relación entre la condición del aceite y el peso de muestra en la determinación de fosfolípidos	85
IX.	Tiempos de retención para cada ácido graso en el cromatógrafo de gases	95
X.	Datos típicos para el diseño de bloques para una prueba de t de student de dos muestras poblacionales	97
XI.	Porcentaje de humedad de la materia seca de pulpa de aguacate en función del tiempo con tratamiento de ácido fosfórico	111
XII.	Porcentaje de humedad de la materia seca de pulpa de aguacate en función del tiempo con tratamiento de sulfito de sodio	112
XIII.	Rendimiento del aceite fijo de pulpa de aguacate (<i>Persea americana Hass</i>) en función de la materia inicial sin deshidratar con la cantidad de muestra obtenida	113

XIV.	Rendimiento del aceite fijo de pulpa de aguacate (<i>Persea americana Hass</i>) en función de la materia deshidratada con la cantidad de muestra obtenida	113
XV.	Rendimiento del aceite fijo de pulpa de aguacate (<i>Persa americana Hass</i>) en función de la materia inicial deshidratada por extracción soxhlet	114
XVI.	Propiedades químicas del aceite fijo a partir de la pulpa de aguacate (<i>Persea americana Hass</i>) con tratamiento de ácido fosfórico	114
XVII.	Propiedades químicas del aceite fijo a partir de la pulpa de aguacate (<i>Persea americana Hass</i>) con tratamiento de bisulfito de sodio	115
XVIII.	Propiedades físicas del aceite fijo a partir de la pulpa de aguacate (<i>Persea americana Hass</i>) con tratamiento de ácido fosfórico	116
XIX.	Propiedades físicas del aceite fijo a partir de la pulpa de aguacate (<i>Persea americana Hass</i>) con tratamiento de sulfito de sodio	117
XX.	Perfil cromatográfico de las muestras de aceite fijo de pulpa de aguacate (<i>Persea americana Hass</i>)	120
XXI.	Análisis proximal de la muestra seca	120
XXII.	Análisis proximal de la muestra seca después del prensado.....	121

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
β	Beta sitoesterol
ρ	Densidad
$^{\circ}\text{C}$	Grados Celcius
μg	Microgramos
μL	Microlitros
$\%$	Porcentaje
μ	Viscosidad

GLOSARIO

Ácido graso	Molécula orgánica formada por una larga cadena hidrocarbonada, en cuyo extremo hay un grupo carboxilo.
AOCS	American Oils Chemist's Society.
ATP	Trifosfato de adenosina.
A_w	Actividad del agua.
Cg	Centigramo.
Cm	Centímetro.
pKa	Constante ácida de equilibrio.
Cromatografía de gases	Método físico de separación en el cual los componentes a separar se distribuyen en dos fases, una fase es estacionaria, de gran área superficial y la otra es un fluido (en este caso un gas) que pasa a través de la fase estacionaria.
DAE-celulosa	Dietilaminoetil.
Ha	Hipótesis alterna.

Ho	Hipótesis nula.
h_r	Humedad relativa.
Km	Kilómetro.
M	Molar.
m	Metro.
m_{eq}	Miliequivalentes.
Mm	Milímetros.
Msnm	Metros sobre el nivel del mar.
m²	Metro cuadrado.
Nm	Nanómetros.
N	Normal.
Ppm	Partes por millón.
pH	Potencial de Hidrógeno.
Saponificación	Reacción química entre un lípido saponificable (ácido graso) y una base o álcali.

Sephadex G100	Tamaño de partícula seca y para especificar el diámetro de poro que se puede utilizar.
Tm	Toneladas métricas.
Ton	Tonelada.
V_{max}	Velocidad máxima.
Winterización	Proceso en el cual se hacen cristalizar los componentes de alto punto de fusión y por medio de sedimentación y presión se separan del aceite limpio, a estos cristales se les conoce como estearina.

RESUMEN

En la Sección de Química Industrial del Centro de Investigaciones de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, en el Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales LIEEXVE, se realizó el proceso de extracción de aceite fijo de la pulpa de aguacate (*Persea americana Hass*) por prensado en frío y la determinación de los índices de calidad de este aceite.

En el presente trabajo de graduación se comparó el rendimiento de extracción y calidad del aceite fijo de aguacate (*Persea americana Hass*), mediante secado de la pulpa utilizando sulfito de sodio y ácido fosfórico como inhibidores de la polifenol oxidasa y peroxidasa.

Para evaluar el rendimiento de extracción de aceite fijo de la pulpa de aguacate (*Persea americana Hass*) por prensado en frío, se comprobó que mediante la cantidad de aceite obtenido en función a la materia seca, se obtuvo un resultado de 10,45% con ácido fosfórico y 11,51% con sulfito de sodio. En esta investigación se trabajó haciendo una mezcla de ambos reactivos con la pulpa del aguacate para luego hacer una mezcla homogénea y someterla a un proceso de secado, en el secador de flujo transversal a una temperatura de 60 grados Celsius que permaneció constante, en un intervalo de tiempo de 22 – 24 horas para llegar a una humedad de 7,5%.

Para determinar los índices de calidad se elaboraron cinco ensayos de cada extracción con ambos reactivos lo que dio un total de diez muestras para analizar. Las pruebas a realizar fueron las siguientes: índice de yodo, peróxido, saponificación, totox, DOBI, humedad, fósforo, fosfátidos, ceras, jabón y gomas. Se determinó que no existe diferencia significativa en trabajar la pulpa en medio básico y ácido, según los datos obtenidos de los índices de calidad.

En cuanto a las propiedades físicas se estableció que no existe diferencia significativa entre ambos procedimientos, las pruebas que se realizaron fueron las siguientes: densidad, viscosidad, punto de ebullición e índice de refracción.

Para el análisis cromatográfico se obtuvo que el aceite fijo de pulpa de aguacate (*Persea americana Hass*) posee en su mayoría ácido esteárico con un 63,36% y ácido palmítico con un 18,21%.

OBJETIVOS

General

Evaluar el rendimiento y la calidad del aceite fijo de la pulpa de aguacate (*Persea americana Hass*) por medio de extracción por prensado en frío.

Específicos

1. Evaluar el rendimiento de extracción del aceite fijo de aguacate utilizando tratamiento previo para la pulpa de aguacate con sulfito de sodio y ácido fosfórico a un rango de presión de 7 a 9 toneladas métricas con una prensa hidráulica tipo Carver.
2. Determinar las propiedades físicas del aceite fijo de aguacate (*Persea americana Hass*) como: viscosidad, densidad, solubilidad con hexano, contenido de humedad e índice de refracción; para las muestras de aceite.
3. Determinar los índices de calidad del aceite fijo de aguacate como: índice de yodo, acidez, de saponificación, peróxidos, p - anisidina, materia insaponificable para las diferentes muestras de aceite.
4. Determinar la composición de otros compuestos presentes en el aceite por medio de cromatografía gaseosa y espectrometría de masas con los diferentes métodos de tratamiento para la extracción por prensado en frío.

5. Comparar las constantes fisicoquímicas y los índices de calidad del aceite en función de extracción con sulfito de sodio y con ácido fosfórico.

HIPÓTESIS

Hipótesis de trabajo

Existe una variación considerable entre los datos obtenidos del aceite de pulpa de aguacate (*Persea americana Hass*) extraído en prensado en frío con los diferentes reactivos utilizados como tratamiento de la pulpa para secado.

Hipótesis de estadística

H₀: no existe diferencia significativa entre los porcentajes de rendimiento del aceite fijo de aguacate (*Persea americana Hass*) extraído por medio de prensado en frío utilizando sulfito de sodio con ácido fosfórico disueltos en agua.

$$\tau_{pa} = \tau_{sa}$$

H_a: existe diferencia significativa entre los porcentajes de rendimiento del aceite fijo de aguacate (*Persea americana Hass*) extraído por medio de prensado en frío utilizando sulfito de sodio con ácido fosfórico disueltos en agua.

$$\tau_{pa} \neq \tau_{sa}$$

Donde:

τ_{pa} : es la medida de la cantidad de aceite fijo con sulfito de sodio

τ_{sa} : es la medida de cantidad de aceite fijo con ácido fosfórico

H₀: no existe diferencia significativa en los índices de calidad del aceite fijo de aguacate (*Persea americana Hass*) extraído por medio de prensado en frío utilizando sulfito de sodio con ácido fosfórico disueltos en agua.

$$\tau_{pa} = \tau_{sa}$$

H_a: existe diferencia significativa en los índices de calidad (*Persea americana Hass*) extraído por medio de prensado en frío utilizando sulfito de sodio con ácido fosfórico disueltos en agua.

$$\tau_{pa} \neq \tau_{sa}$$

Donde:

τ_{pa} : es la medida de los índices de calidad de aceite fijo con sulfito de sodio

τ_{sa} : es la medida de los índices de calidad de aceite fijo con ácido fosfórico

H₀: no existe diferencia significativa entre las propiedades fisicoquímicas del aceite fijo de aguacate (*Persea americana Hass*) extraído por medio de prensado en frío utilizando sulfito de sodio con ácido fosfórico disueltos en agua.

$$\tau_{pa} = \tau_{sa}$$

H_a: existe diferencia significativa entre las propiedades fisicoquímicas (*Persea americana Hass*) extraído por medio de prensado en frío utilizando sulfito de sodio con ácido fosfórico disueltos en agua.

$$\tau_{pa} \neq \tau_{sa}$$

Donde:

τ_{pa} : es la medida de las propiedades fisicoquímicas del aceite fijo con sulfito de sodio

τ_{sa} : es la medida de las propiedades fisicoquímicas de aceite fijo con ácido fosfórico

INTRODUCCIÓN

La actividad del aguacate es bastante importante en Guatemala, se considera que uno de los principales productores es México que genera una demanda económica por más de 5 000 millones de pesos anuales; la fortaleza de la industria del oro verde depende en gran medida de la concurrencia de los distintos actores que en ella participan, en especial de los centros académicos y de investigación. Donde se han realizado varios estudios referentes a la extracción y al aprovechamiento del aguacate este como fruto fresco tiene gran aceptación, con amplias oportunidades de participación en los mercados internacionales, tanto en fresco como procesado en guacamole, puré, aceite, cosméticos, etcétera.

La industrialización de estos productos se ocupa en la industria cosmética, gourmet y farmacéutica. El oscurecimiento del aceite se debe a las enzimas polifenol oxidasa y peroxidasa actúan en la muestra. En diferentes informes de otras universidades de países como México, Colombia, Chile, entre otros. Se han utilizado diferentes antioxidantes como ácido cítrico y sulfito de sodio. En este caso se realizó el estudio mediante una variación de pH de la pulpa con ácido fosfórico y sulfito de sodio a una concentración fija, donde se determinaron los índices de calidad como índice de yodo, saponificación, acidez, materia insaponificable, peróxidos, cuantificación de ceras, gomas, porcentaje de jabón, fosfolípidos y perfil de ácidos grasos en las muestras.

El grado de maduración es tipo C o D, siempre y cuando no existan rastros de la actuación de las enzimas. Con la caracterización de los índices de calidad y las propiedades fisicoquímicas del aceite de aguacate se puede determinar el tratamiento adecuado para comercializar este producto que tiene gran demanda en el mercado europeo. El aceite es rico en vitamina E por lo que tiene una gran aplicación en la industria cosmética, también posee propiedades curativas por lo que es utilizado en la industria farmacéutica.

1. ANTECEDENTES

Para fabricar aceite fijo de aguacate y caracterizar las propiedades fisicoquímicas del mismo a partir de la pulpa existen pocas referencias bibliográficas. En la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, sólo existe un estudio sobre la extracción de aceite a nivel laboratorio y planta piloto, por esta razón se acudió a consultar tesis y trabajos de graduación de otros países.

En noviembre de 1994 la Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Química, de la Universidad de San Carlos de Guatemala, se realizó un trabajo de graduación sobre: determinación del conjunto de variables, apropiadas para el proceso de extracción de aceite de pulpa de aguacate con solventes, a partir de pruebas a nivel laboratorio y a nivel planta piloto. Este estudio se llevó a cabo para determinar el conjunto de variables adecuadas para un proceso de extracción con solventes.

A nivel laboratorio, se llevaron a cabo dieciocho extracciones del aceite de pulpa de aguacate con solventes. En donde se utilizaron dos métodos: deshidratación de la pulpa de aguacate con alcohol etílico y lixiviación del aceite con n – hexano. Solventes separados. Deshidratación de la pulpa de aguacate y lixiviación del aceite de aguacate, utilizando una mezcla de alcohol etílico y n – hexano. En ambos métodos, se obtuvieron rendimientos similares.

En 1990 por parte de la Universidad Central de Venezuela se realizó una publicación sobre un artículo científico de Purificación y caracterización cinética de la enzima polifenol oxidasa del ocumo (*Xanthosoma sagittifolium*)". Dicha investigación fue dirigida por el Departamento de Botánica Agrícola y el Departamento de Química y Tecnología de Alimentos, los Directores por parte de dichos departamentos son: Ángel Guadarrama y Nilo Rivas.

Esta investigación se elaboró con el fin de comprender el comportamiento de la enzima para conocer el deterioro del ocumo después de cosechado o durante su posible procesamiento industrial. En la purificación se utilizaron diferentes técnicas de separación tales como precipitación con sulfato de amonio, cromatografía por intercambio iónico mediante DEAE-Celulosa y cromatografía por filtración en columnas de sephadex G100.

En este caso se utilizaron tres isoenzimas polifenol oxidasa designadas como A, B y C de estas isoenzimas sólo la C fue purificada 28 veces, las otras perdieron mucha actividad y el rendimiento fue bajo, por lo que se hizo difícil realizar la caracterización cinética. Se presentan y discuten los pasos de purificación, los valores de K_m y V_{max} , pH óptimo, temperatura óptima y estabilidad al calor de la polifenol oxidasa C.

En 1992 en la universidad de Minnessota en el Departamento de Ciencia de los Alimentos y Nutrición, donde se realizó un proyecto de investigación que tiene como título: la extracción de aceite de aguacate con la tecnología apropiada para los países en desarrollo.

En dicha investigación se hacen algunos de los procedimientos para la extracción de aceite a base de frutas, tejido mesocarpio del aguacate los cuales se compararon con modificaciones, con el propósito de la creación de aplicabilidad en los países en desarrollo.

Se determinó que la mejor recuperación que se obtuvo fue con el agua al 5:1-relación entre el aguacate, un pH de 5,5 y la fuerza centrífuga de 12.300 x g. Además, de 5 de $\text{CaCO}_3\%$ o CaSO_4 lo que permite la extracción sin disolventes orgánicos. La relación era lineal entre la temperatura de calentamiento (75 - 98 grados Centígrados) y el tiempo de la liberación de petróleo de las lechadas. La sedimentación por gravedad tiene un tiempo de duración cuatro días a 37 grados Centígrados y centrifugación de aceite de rendimiento mejorado. También se encontró que la recuperación óptima de petróleo fueron 70-80%.

En 1999 la Facultad de Agronomía y la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad de Chile, realizó una investigación titulada: la determinación de la evolución y caracterización de los aceites en paltas (*Persea americana Mill.*) Cvs. Fuerte y Hass cultivados en Chile. Dicha investigación trata sobre los Frutos de los cultivares Fuerte y Hass, en la etapa final de su desarrollo, donde se cosecharon cada 15 días, midiéndoseles porcentaje de humedad y aceite; y la composición de ácidos grasos mediante cromatografía de gases. Para el cv. Fuerte se determinó que existen variaciones entre el contenido de aceite y el porcentaje de humedad.

En la revista de la Facultad de Agronomía que se publicó dicho artículo menciona lo siguiente: “sin embargo, de un año a otro, los valores, aunque mantuvieron una cierta proporcionalidad, dada por la forma de medición, variaron en forma visible probablemente debido a las condiciones climáticas o específicamente de pluviometría y temperatura de la temporada.

Referente a los ácidos grasos, se determinó que es el oleico predominante superando el 50%. Con niveles cercanos al 10% y 8% fueron los ácidos palmíticos y linoleico, respectivamente¹.” Esta es información importante ya que indica los cambios que puede haber tomando en cuenta diferentes tipos de madurez, esto influye en el pH, la cinética de la enzima y en las propiedades de los aguacates a distintos grados de madurez.

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.

¹ OLAETA, JA., UNDURRAGA, P., SCHWARTZ M., et al. Revista Chapingo Serie Horticultura 5: p. 117.

En dicha investigación se extrae lo siguiente: “El aceite extraído tenía un color verde brillante y Hort Research dispone de un panel sensorial especializado para realizar un análisis sensorial de las muestras de aceite. Las características positivas del aceite del aguacate descritas por los miembros del panel fueron de ahumado, con sabor a nuez, a mantequilla y ligeramente picante. Las características negativas señaladas fueron de sabor a pescado, rancio y a pintura”². Estas últimas características se indicaron al analizar muestras de aceites extraídos incorrectamente.

También se ha llevado a cabo una serie de análisis químicos de este aceite y se ha comprobado que contiene una amplia gama de compuestos con conocidos beneficios para la salud. El alfa-tocoferol, que se ha relacionado con la reducción de las enfermedades cardiovasculares, se encuentra aproximadamente en una cantidad de 12 a 15 miligramos sobre gramo de aceite en el producto obtenido por presión en frío. Los niveles de beta-sitosterol fueron aproximadamente de 4,5 miligramos sobre gramo de aceite. Los fitoesteroles (incluyendo b-sitosterol) inhiben la absorción intestinal de colesterol en el ser humano, disminuyendo los niveles plasmáticos de colesterol total y de LDL; y pueden prevenir el cáncer de colon, mama y próstata.

² RAQUEJO, C., LUND C., WHITE A., et al. Publicación del V Congreso Mundial Del Aguacate 460 p.

Se detectó una amplia gama de pigmentos liposolubles (carotenoides) en el aceite obtenido por presión en frío, como carotenos, xantofilas y una cantidad importante de clorofila. También es importante, desde el punto de vista sanitario, la presencia de luteína (una xantofila), que se ha relacionado con la reducción de trastornos por manchas oculares y el riesgo de cataratas. Las relaciones entre los ácidos grasos monoinsaturados (oleico y palmitoleico) y saturados (palmítico), y entre los ácidos grasos poliinsaturados (linoleico y linolénico) y saturados, analizadas en los aguacates de NZ revelaron una comparación favorable desde el punto de vista sanitario con los del recomendado aceite de oliva.

En el 2003 el Departamento de Agroindustria y la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia de la Universidad Católica de Valparaíso de Chile, realizó un estudio sobre la estabilidad del aguacate Osmodeshidratado durante el almacenamiento. En donde realizan estudios a trozos de aguacate cv fuerte se les eliminó el 40% del agua por deshidratación osmótica, sumergiéndolos en una solución de maltodextrina 18-22 DE (al 50%) y NaCl al 10% durante seis horas, tiempo después del cual, se trituraron para transformarlos en pulpa.

Para comprobar el efecto de la temperatura del almacenamiento sobre esta pulpa se almacenó durante 80 días, bajo tres condiciones: temperatura ambiente (T_3), refrigeración (T_2 4 grados Centígrados) y congelación (T_1 20 grados Centígrados). Se controló, cada 20 días, la calidad de la pulpa midiendo humedad, a_w (actividad del agua), sólidos solubles, sal, índice de peróxido, pH y color instrumental. Todas las muestras se almacenaron al vacío en bolsas de polietileno.

Los resultados se analizaron mediante un análisis de varianza (ANOVA) y las diferencias con el test de Duncan. La humedad no varió ($p < 0,05$) y fluctuó entre 58,8 y 61,6 gramos sobre 100 gramos pulpa. Al término de 80 días, la actividad del agua se situó entre 0,91 y 0,73; el menor valor ($p < 0,05$) está asociado a la pulpa congelada, en cuyo caso el agua está retenida en forma de cristales de hielo y por lo tanto no está disponible. Los sólidos solubles se mantuvieron en 20 grados Brix, lo mismo que el valor inicial de pH de 4,4 en la pulpa congelada; en tanto a temperatura ambiente, aumentó gradualmente hasta 5,2 transcurridos 60 días.

La tendencia del índice de peróxido a aumentar en temperatura ambiente, es distinta ($p < 0,05$) al comportamiento que tiene en refrigeración y congelación. Hasta 20 días no hay diferencias entre estas últimas, pero si las hay a partir de los 40 días y hasta el final. Para la pulpa congelada, los valores aumentaron de 10,2 a 11,7 el día 80, y hasta 20,2 miligramos equivalente sobre un kilogramo de aceite, a temperatura ambiente”.³ En cuanto al color, a temperatura ambiente, se oscurece al término del almacenamiento, producto de la rancidez incipiente.

En refrigeración, también disminuye el color verde, aunque menos que en el caso anterior. En congelación el color no se altera hasta los 80 días. La pulpa congelada una vez descongelada y mantenida a temperatura ambiente aproximadamente 18 grados Centígrados, no cambió su color al menos durante 10 horas.

³ SCHWARTZ, M., SEPULVEDA M., OLAETA, JA., y UNDURRAGA P. Publicación V Congreso Mundial del Aguacate 218 p.

La eliminación previa por osmosis de gran parte del agua, aumentó la microcristalización mejorando la textura y sabor del aguacate descongelado. Asimismo, se redujo el peso y el volumen del aguacate congelado.

En el 2003 el Departamento de Ingeniería Bioquímica de la Escuela nacional de Ciencias Biológicas y el Instituto Nacional Politécnico Nacional de México, en conjunto realizaron una investigación sobre: la obtención de una pasta de aguacate mediante tratamiento térmico. Dicha publicación trata sobre la importancia de desarrollar nuevos procesos que permitan ofrecer al consumidor productos elaborados con aguacate que presenten un aspecto agradable después de un tiempo aceptable de almacenamiento. Por otro lado, para el tratamiento de alimentos tipo purés o pastas resulta conveniente usar intercambiadores de calor de superficie raspada. Este tipo de alimentos contienen sólidos en suspensión, forman depósitos y presentan comportamientos reológicos no newtonianos.

El objetivo de este trabajo fue establecer con base a las propiedades fisicoquímicas de la pasta de aguacate variedad Hass, las condiciones de operación óptimas en las cuales, como resultado del tratamiento térmico en un intercambiador de calor de superficie raspada (ICSR), la enzima polifenol oxidasa es desactivada. En la primera parte de la experimentación, se aplicó un calentamiento directo en una placa caliente a diferentes muestras, en cinco niveles de temperatura, tres tiempos de tratamiento y se evaluó la actividad de polifenol oxidasa. Con los resultados obtenidos, se procedió a realizar el tratamiento térmico a 73, 80, 84 y 85 grados Centígrados durante 10, 8, 6 y 4,6 minutos, respectivamente en el intercambiador de calor de superficie raspada.

“Las muestras se almacenaron por ocho semanas, evaluando su calidad microbiológica, color y pH. La pasta de aguacate tratada a 85 grados Centígrados, presentó una gran estabilidad microbiológica durante el tiempo de prueba y poca variación de pH con respecto al producto obtenido inicialmente. Dentro de los datos más relevantes se obtiene lo siguiente: La pasta tratada a las temperaturas de 73 grados Centígrados, no presentó estabilidad microbiológica, ya que en la primera semana se detectó un incremento en la cantidad de coliformes, y por otro lado el valor de pH presentó un descenso importante a lo largo de los dos meses de almacenamiento. Para todas las condiciones de tratamiento térmico, el color de la pasta de aguacate presentó una degradación hacia el color amarillo conforme avanzó el tiempo de almacenamiento”.⁴

En el 2005 la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Autónoma de Tamaulipas realizó un proyecto de investigación sobre conservación de la pulpa de aguacate variedad Hass combinando el empacado al vacío y el almacenamiento congelado. Proyecto que hace énfasis en el aguacate es un fruto muy apreciado, sin embargo, no se comercializa ampliamente en forma procesada por presentar un rápido oscurecimiento enzimático.

Dicho artículo expone: no es apropiado usar el escaldado para inhibir este deterioro, porque causa un rápido deterioro del sabor. Se estudió el efecto de dos grupos de sustancias químicas, en la inhibición de la actividad de la polifenoloxidasas: agentes reductores, los cuales previenen la acumulación y polimerización de la O-benzoquinona y, agentes quelantes, los cuales inactivan la enzima, por reaccionar con el ión cobre, considerado como parte esencial para la misma.

⁴ ORTIZ A., MORA R., SANTIAGO T. y DORANTES L. Publicado por el V Congreso Mundial del Aguacate 761 p.

“De acuerdo con su efectividad, se seleccionaron el ácido ascórbico, ácido cítrico y EDTA. Se prepararon dos tipos de muestras, una con los tres aditivos mencionados y otra sin ellos. Las muestras fueron empacadas al vacío y almacenadas a -18 grados centígrados por seis meses”⁵. Durante este período, no se presentó oscurecimiento enzimático, rancidez oxidativa, ni otro cambio visible. Sin embargo, la actividad de la polifenoloxidasas, extraída de las muestras congeladas, permaneció intacta. El análisis microbiológico fue negativo para el crecimiento de microorganismos anaerobios. Este método es apropiado para la industrialización de la pulpa de aguacate.

En el 2007 la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas del Instituto Politécnico Nacional en México DF. Realizó una investigación sobre el Estudio de las Propiedades de la Semilla de Aguacate (*Persea americana*) variedad Hass, para el aprovechamiento integral del fruto. Dicha investigación trata sobre el aguacate en México que es un fruto de gran importancia económica, ya que ocupa el primer lugar a nivel mundial en producción con más de 987 323 toneladas anuales, tiene amplias oportunidades en los mercados internacionales, tanto en fresco como procesado en guacamole, puré, aceite y cosméticos.

Vale la pena mencionar en la industrialización de estos productos se ocupa la parte comestible del aguacate, desechándose la cáscara y la semilla. La semilla representa de un 15 al 16% del total del fruto en consecuencia se desperdician aproximadamente 148 000 toneladas anualmente, según cálculos realizados dentro de la investigación.

⁵ DE LEÓN, JA., OLIVA MA., VÁZQUEZ S F. y DE LEÓN V. Tesis “Conservación de la pulpa de aguacate variedad Hass combinando el empacado al vacío y el almacenamiento congelado” 78 p.

Sin embargo, para que estos productos puedan ser consumidos por el ser humano deben estudiarse factores de riesgo, así como, una posible actividad farmacológica. Dentro de lo más importante que se puede extraer sobre el estudio, vale la pena mencionar que el análisis fitoquímico de la semilla de aguacate mostró presencia de taninos y azúcares reductores. “La dosis letal media (DL50) tuvo un valor mayor a 2 000 miligramos sobre kilogramo de muestra, lo que corresponde a un producto ligeramente tóxico. También se realizó un estudio en ratones en el cual se demuestra que hay una disminución del 55% de movilidad espermática, por lo que se podría utilizar la semilla de aguacate como anticonceptivo natural para varones a corto plazo”⁶.

En noviembre del 2008 la Escuela Nacional en Ciencias Biológicas en la sección de Estudios de Posgrado e Investigación del Instituto Politécnico de México DF. Públco una tesis que tiene como tema el efecto sobre el perfil lipídico producido por diferentes aceites de aguacate en ratón. En dicha investigación se evaluaron los efectos sobre el perfil lipídico debido al consumo de diferentes dietas elaboradas con el aceite extravirgen de aguacate, en donde se emplearon ratones ICR machos, en tres modelos dietéticos diferentes: Hipercolesterolémico por 30 días y normocolesterolémico por 30 días, dieta con mezcla de aceites extravirgen IPN y maíz. Asimismo, se determinaron concentraciones de β – sitoesterol, luteína, Vitamina E y glutati3n, principales fotoquímicos presentes en el aguacate y que se considera contribuyen al efecto benéfico del perfil lipídico.

⁶ PAHUA, ME., ORTIZ, A., GARDUÑO, L., et al. Publicación del “IX Congreso de Ciencia de los alimentos y V Foro de Ciencia y Tecnología de alimentos” 225 p.

Por otra parte se determinó que el consumo del aguacate junto a la dieta de hipercolesterolémica no disminuyó la concentración plasmática de los lípidos; manteniendo constantes el colesterol total, lipoproteínas de baja densidad (LDL), lipoproteínas de alta densidad (HDL) y triacilglicéridos (TG). "El modelo mormocolestoriémico probado a 30 días sugirió que la ingesta de aceite de aguacate sin importar la metodología que se emplee para su extracción, disminuyó la concentración de triacilglicéridos y mantiene la concentración de lipoproteínas de alta densidad (HDL), colesterol total lipoproteínas de baja densidad (LDL)"⁷.

La Cooperación Colombiana de Investigación Agropecuaria, CORPOICA Espinal, Colombia publicó un artículo que trata sobre el efecto del tratamiento enzimático en la extracción de aceite de aguacate (*Persea americana Mill*). En esta investigación se estudió el rendimiento en la extracción de aceite de frutos de aguacate cv Hass, utilizando dos preparados enzimáticos: Maxolive® y Rapidase, que luego fue prensada hidráulicamente, la mezcla óleo acuosa resultante fue centrifugada para separar el aceite.

En el análisis estadístico de los rendimientos de extracción la realizaron utilizando la metodología de superficie de respuesta, el mejor rendimiento que se obtuvo que el mejor rendimiento de extracción es trabajando con la enzima Maxolive con un 48,36% y se obtuvo con un pretratamiento por 2 horas a 50 grados Centígrados ideal para conservar las propiedades del producto.

⁷ HERNÁNDEZ, MM. El efecto sobre el perfil lipídico producido por diferentes aceites de aguacate en ratón. 115 p.

Con la enzima Rapidase alcanzó un valor máximo de extracción de 48,25% en un tiempo de 4 horas a 30 grados Centígrados, lo cual es favorable a la hora de utilizar baja temperatura, pero el tiempo de tratamiento hace que el producto se oxide más rápidamente; el aceite extraído presento índice bajo de peróxido y acidez lo que indica excelentes características fisicoquímicas para un producto consumible.

2. MARCO TEÓRICO

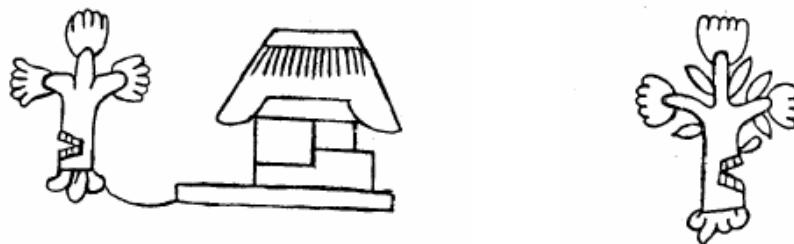
2.1. Historia del origen del aguacate

El origen del aguacate de acuerdo a Williams en 1977, tuvo lugar en las partes altas del centro, este de México y partes altas de Guatemala. Esta misma región está incluida en lo que se conoce como Mesoamérica y también es considerada como el área donde se llevó a cabo la domesticación del mismo. Existe evidencia directa de la domesticación en el período Clásico Maya del maíz, calabaza, yuca, algodón, aguacate, camote y el agave, lo cual está sustentado por restos de planta en el contexto arqueológico y lingüístico que le dan validez a esta lista de cultivos.

“El aguacate era bien conocido por el hombre desde tiempo atrás, ya que la evidencia más antigua del consumo de aguacate fueron encontrados en una cueva en Coxcatlán, región de Tehuacán, Puebla, México, datados entre 8,000-7,000 B.C. Las culturas antiguas también contaban con un buen conocimiento acerca del aguacate y de sus variantes, como se muestra en el Códice Florentino, donde se mencionan tres tipos de aguacate, que de acuerdo a su descripción; “aoacatl” podría tratarse de *Persea americana* var. *drymifolia* (raza Mexicana), “tlacacolaocatl” a *Persea americana* var. *americana* (Raza Antillana) y “quilaoacatl” a *Persea americana* var. *guatemalensis* (raza Guatemateca)”.⁸

⁸ BARRIENTOS, AF. y LÓPEZ, L. Historia y Orígenes del Aguacate. 101 p.

Figura 1. **Jeroglífico del poblado de Ahuacatlán**



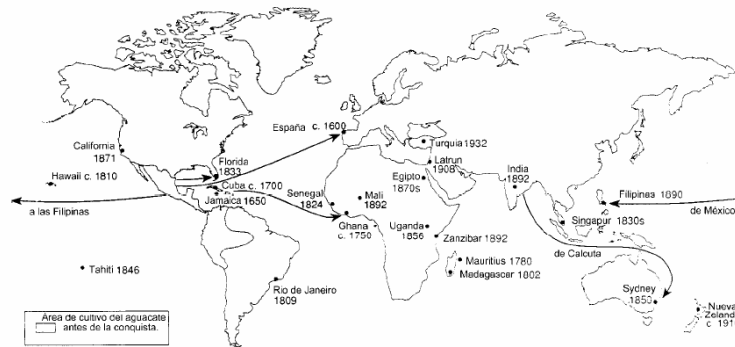
Fuente: BARRIENTOS, Alejandro. Historia y Orígenes del Aguacate.100 p.

El jeroglífico representando al poblado de Ahuacatlán, que significa lugar donde abunda el aguacate y a la derecha matrícula de tributo utilizado por el poblado de Ahuacatlán para diferenciar mercancía enviada al Imperio Azteca como tributo. Dibujado del Códice Mendocino.

Por otra parte en el Códice Mendocino existen jeroglíficos donde se indica el poblado Ahuacatlán (lugar donde abunda el aguacate) que está compuesto por un árbol con dentadura en el tallo (ahuacacahuitl) y un calli que significa poblado o lugar.

En el caso de la matrícula de tributo que se daba al imperio Azteca y que se utilizaba para identificar la mercancía del poblado de Ahuacatlán era el ahucacahuitl solo.

Figura 2. **Distribución del aguacate después de la conquista en el mundo antes de 1915**



Fuente: BARRIENTOS, Alejandro. Historia y Orígenes del Aguacate. 101 p.

Distribución del aguacate después de la conquista en el mundo hasta antes de 1915. Después de la conquista los españoles llevaron el aguacate a España en 1600 y posteriormente comenzó la distribución del aguacate a nivel mundial. México es uno de los países con amplia diversidad de tipos de aguacate y existen en el país al menos 20 diferentes especies relacionadas con el aguacate. Esta gran variabilidad puede ser debida a diferentes condiciones ambientales presentes a lo largo y ancho del territorio nacional y a la naturaleza que le ha conferido al aguacate, mecanismos que hacen maximizar el cruzamiento con otros tipos y por lo tanto, incrementa la variabilidad genética y por ende ampliar la adaptación a un mayor número de ambientes dictado por Bergh, en 1992.

Los recursos genéticos del aguacate son una fuente única de genes (caracteres) que pueden utilizarse para el mejoramiento genético de cultivares, portainjertos e interinjertos.

Estos recursos han estado desapareciendo muy rápido durante las pasadas dos o tres décadas según Ben – Yacov, debido a factores como el cambio en el uso del suelo, utilización de la madera, enfermedades del suelo, sequías e incendios, factores que han traído gran devastación en México. La deforestación se ha acelerado dramáticamente en los trópicos. A las tasas actuales, los países en desarrollo perderán cerca del 40% de su cubierta forestal entre 1978 y la vuelta del siglo.

2.2. Especies del género *Persea*

El aguacate pertenece a la familia Lauraceae y en la actualidad el género *Persea* contiene alrededor de 85 especies y la mayoría se encuentran desde el sur de los Estados Unidos de Norteamérica (*Persea borbonia*) hasta Chile (*Persea lingue*). Sólo son las excepciones *Persea indica* que se encuentra en las Islas Canarias (España) y probablemente otras del sur de Asia que se piensa pertenecen a *Persea*.

El aguacate pertenece al género *Persea*, el cual a su vez se divide en dos subgéneros: *Persea* y *Eriodaphne* según dicta Kopp en 1966, cuya principal forma de distinción es por la pubescencia de la cara interior de los sépalos; *Persea* tiene ambas caras pubescentes y en *Eriodaphne* la cara interna es sin pubescencia, con la excepción de *Persea pallida*, *Persea rigens* y *Persea cinerascens*.

El aguacate cuya especie es *Persea americana* Mill. Pertenece al subgénero *Persea*, que se conoce como el de los verdaderos aguacates y que son de un tamaño mayor que los del otro subgénero; además del aguacate, se encuentran en este grupo: *Persea nubigena* que se denomina aguacate de monte, *Persea steyermarkii* que se denomina aguacate de montaña, *Persea schiedeana* se conoce como: chinini, chinene, chenene, yas, hib y *Persea floccosa* que es un aguacate cimarrón.

2.3. Morfología y taxonomía del aguacate

Familia: Lauráceas.

Especie: *Persea americana*.

Origen: México y luego se difundió hasta las Antillas.

Planta: árbol extremadamente vigoroso (tronco potente con ramificaciones vigorosas), pudiendo alcanzar hasta 30 metros de altura.

Sistema radicular: bastante superficial.

Hojas: árbol perennifolio. Hojas alternas, pedunculadas, muy brillantes.

Flores: flores perfectas en racimos subterminales; sin embargo, cada flor abre en dos momentos distintos y separados, es decir, los órganos femeninos y masculinos son funcionales en diferentes tiempos, lo que evita la autofecundación. Por esta razón, las variedades se clasifican con base en el comportamiento de la inflorescencia en dos tipos A y B. En ambos tipos, las flores abren primero como femeninas, cierran por un período fijo y luego abren como masculinas en su segunda apertura.

Esta característica de las flores de aguacate es muy importante en una plantación, ya que para que la producción sea la esperada es muy conveniente mezclar variedades adaptadas a la misma altitud, con tipo de floración A y B y con la misma época de floración en una proporción 4:1, donde la mayor población será de la variedad deseada.

“Cada árbol puede llegar a producir hasta un millón de flores y sólo el 0,1% se transforman en fruto, por la abscisión de numerosas flores y frutitos en desarrollo”.⁹

Fruto: baya unisemillada, oval, de superficie lisa o rugosa. El envero sólo se produce en algunas variedades y la maduración del fruto no tiene lugar hasta que este se separa del árbol.

Órganos fructíferos: ramos mixtos, chifonas y ramilletes de mayo. El de mayor importancia es el ramo mixto.

2.4. Características

El aguacate es una planta perteneciente a la familia de las Lauráceas. Originario de Guatemala, parte de Centroamérica y México.

Es una planta perenne, de gran crecimiento vegetativo, llegando en su hábitat natural a una altura de 10 a 12 metros. Con raíces superficiales, que absorben agua y nutrientes principalmente en las puntas a través de los tejidos primarios; esto determina la susceptibilidad del árbol al exceso de humedad que induce a ataques de hongos y pudriciones vasculares.

⁹ ANACAFE. Programa de Diversificación de Ingresos de la Empresa Cafetalera Junio 2004. 18 p.

Las ramas son abundantes, delgadas y frágiles, sensibles a las quemaduras de sol y a las heladas, se rompen con facilidad al cargar muchos frutos o por acción del viento, las flores son hermafroditas, simétricas, de color verde amarillento. Las hojas son simples y enteras, presentan un color rojizo y al llegar a la madurez se tornan lisas, coriáceas y de un verde intenso.

Con relación a la polinización, en las regiones subtropicales y templado-cálidas, las plantas actúan como autofértiles, tal es el caso de las plantaciones de aguacate variedad Hass de Guatemala en donde no son necesarias las variedades polinizadoras.

El fruto del aguacate es una drupa carnosa, de forma periforme, ovoide, globular o elíptica alargada; su color varía del verde claro al verde oscuro, y del violeta al negro. La forma, el color, la estructura y consistencia de la cáscara y de la pulpa, son características determinadas por el grupo ecológico y la variedad analizada. La mayoría de las variedades comerciales en los países productores de aguacate se han clasificado en tres razas básicas o grupos ecológicos: la mexicana, de origen mexicano, la guatemalteca y antillana, ambas de origen Guatemalteco y parte de Centroamérica. Entre las características distintivas se tomó en cuenta, la época de floración y recolección, el período de floración-recolección, el peso y tipo de corteza de la fruta, el contenido de aceite de la pulpa y la resistencia al frío.

El aguacate contiene: -Vitaminas: E, A, B1, B2, B3, D, y en menor cantidad C, -Minerales: muy rico con 14 variedades destacan: hierro, fósforo y magnesio. -Otros: Ácido fólico, Niacina y Biotina.

Por esta razón a continuación se describen algunas propiedades que este posee.

Tabla I. **Composición del aguacate (*Persea americana* Hass)**

Composición	Variedad Hass
Peso del fruto	200 gr
Porción (g/100 g)	75
Humedad (g/100 g)	68,14
Proteína (g/100 g)	1,8
Grasa (g/100 g)	20
Carbohidratos (g/100 g)	7,8
Cenizas (g/100 g)	1,2

Fuente: ORTEGA, Miguel. Valor nutrimental de la pulpa fresca Hass. 747 p.

Tabla II. **Composición nutricional del aguacate de la variedad Hass por cada 100 gramos de pulpa**

Agua	74,27 g	Hierro	0,4 mg
Energía	161 kcal	Zinc	1 mg
Grasa	15,32 g	Vitamina C	7,8 mg
Proteína	1,98 g	Vitamina B1	0,108 g
Hidratos de carbono	7,39 g	Vitamina B2	0,122 g
Fibra	5 g	Vitamina B6	0,280 g
Potasio	600 mg	Vitamina A	61 UI
Sodio	10 mg	Vitamina E	1,34 mg
Fósforo	41 mg	Folacina	62 mcg

Continuación de la tabla II.

Calcio	11 mg	Niacina	1,921 mg
Magnesio	39 mg	Glutacion	27,7 mg
Cobre	0,26 mg	Luteína	284 µg

Fuente: ORTEGA, Miguel. Valor nutrimental de la pulpa fresca Hass. 747 p.

Tabla III. **Datos fisicoquímicos del aceite de aguacate a partir de frutos maduros, estabilizado contra el enranciamiento con antioxidante**

Propiedad	Valor
Densidad (15 °C)	0,914 -0,920 g/ml
Índice de acidez	0,5
Índice de saponificación	188 – 196
Índice de yodo	95 – 100
Insaponificable (%)	2,5 – 3,5
Ácido oleico 8%)	64 – 68
Ácido linoléico (%)	11-14
Ácido linoléico trazas	-----
Fitoesteroles (%)	0,8 – 1,4
Vitamina A	35 000 U.I./kg
Vitamina B	80 000 U.I./kg
Vitamina E	1 500 U.I./kg

Fuente: GUINAMA de Valencia España. <http://www.guinama.com/archivosProductos/1/945111ficha-tecnica-aceite-aguacate.pdf>. [Consulta: 25 de septiembre del 2010].

2.5. Usos

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

Pero, la principal forma de utilización del aguacate es el consumo de la fruta en fresco o pulpa procesada en forma de guacamol, situación muy favorable en la dieta del ser humano considerando el alto valor proteínico de esta fruta y lo más importante es que no contiene colesterol. Indicado para diabéticos, por su capacidad equilibrante de azúcar en la sangre.

2.6. Beneficios

El cultivo de aguacate es una alternativa viable para la diversificación en áreas cafetaleras, ya que puede incorporarse a la estructura productiva de la finca en asocio con el café, sirviendo de sombra para este y generando ingresos económicos en el mediano plazo.

El país exporta cada año unas cuatro mil quinientas toneladas métricas de aguacate, con apoyo de la Asociación Gremial de Exportadores de Productos.

El aceite de aguacate, por ejemplo, es tan competitivo como el aceite de oliva, por ser rico en grasas no saturadas y vitamina E, por su baja acidez y su alta composición de fitosterol, un componente similar a la lanolina, usada en la industria de cosméticos.

2.7. Variedades importantes

La producción de aguacate en Guatemala tiene una larga trayectoria. Existen diferentes variedades que dependen de la altitud de donde estén ubicados.

Tabla IV. **Variedades de aguacate aptas para el cultivo en las diferentes altitudes**

De 0-1 000 msnm	1 000-1 500 msnm	1 500-2 500 msnm
Simmons	Choquete	Nabal (G)
Catalina	Kahalú	Azteca
Booth 8	Hall	Fuerte
Booth 7	Simpson	Hass
Masutomi	Booth 8	Ettinger
Kahalú	Guatemala	Wurstz
	Fujikawa	
	Itzama	

Fuente: ANACAFE. Programa de diversificación de ingresos de la Empresa Cafetalera, 5 p.

2.7.1. Variedad Hass

- El árbol es sensible al frío, por lo que es aconsejable su plantación en zonas libres de heladas.
- Evitar regiones con vientos calurosos, pues deshidratan tanto las flores como los brotes jóvenes.

- Época de floración normal es de diciembre a marzo, floración loca de agosto a octubre cosecha de noviembre a abril y de julio a septiembre.
- Principal variedad comercial en el mundo.
- Buen nivel de productividad.
- Fruto oval periforme.
- Tamaño medio, de 200 a 300 gramos de peso.
- Calidad excelente y piel gruesa (resistente al transporte), rugosa, que se pela con facilidad.
- Fruto maduro color violeta oscuro.
- La pulpa no tiene fibra.
- Contenido de aceite de 18 a 22%.
- El fruto permanece temporalmente en el árbol, después de madurar sin pérdida de calidad.

Figura 3. **Aguacate (*Persea americana* Hass)**



Fuente: ANACAFÉ. Programa de diversificación de ingresos de la Empresa Cafetalera. 5 p.

2.8. Manejo agronómico

El mantenimiento de los árboles es importante para obtener los mejores estándares de calidad para el manejo de cosecha y pos cosecha del aguacate de distintas especies.

2.8.1. Viveros

Existe la opción de realizar viveros propios para lo cual tendrá que preparar los portainjertos con semillas de árboles criollos con buen desarrollo, buena producción y resistencia a plagas, enfermedades, sequía y otros factores adversos. Procediendo a realizar el semillero en tablones o directamente en bolsas de polietileno de 9 x 12 pulgadas las cuales se colocan en hileras de tres a 4 filas. Para lograr un buen desarrollo de los patrones se debe procurar un buen cuidado, riegos, fertilización y control de plagas y enfermedades.

2.8.2. Propagación

La propagación por injerto es el método más apropiado para reproducir las variedades seleccionadas de cultivo comercial, ya que los árboles injertados son uniformes en cuanto a la calidad, forma y tamaño de la fruta. Las semillas deben provenir de frutas sanas, de buen tamaño, cosechadas directamente del árbol. Su viabilidad dura hasta tres semanas después de extraída de fruta.

La semilla se lava con agua limpia y se expone al sol durante una hora, removiéndola cada quince minutos, esto facilita el desprendimiento de la testa. Es necesario someter la semilla a tratamiento con fungicida para disminuir la incidencia de enfermedades.

“Es recomendable cortar la parte angosta de la semilla, en un tramo de una cuarta parte del largo total, para ayudar así a la germinación y para hacer una primera selección, ya que el corte permite eliminar las semillas que no presenten el color natural blanco amarillento, debido a podredumbre, lesiones o cualquier otro daño. Inmediatamente después se siembran en las bolsas colocándolas de modo que la parte cortada quede hacia arriba. Las semillas empiezan a brotar aproximadamente treinta días después de sembradas”.¹⁰

2.9. Aceite de aguacate

El aguacate, dependiendo de la variedad y madurez alcanza en la pulpa niveles de hasta 25% de aceite, con valores promedios de 15-19%, lo que permite lograr rendimientos de alrededor de 10% de la fruta fresca. Este aceite, contiene un alto nivel de ácidos insaturados. El aceite de aguacate se ha utilizado principalmente para uso cosmético, ya que contiene un esteroil llamado phitosterol, que posee las mismas habilidades que la lanolina.

Esta particularidad es muy apropiada para la piel y cremas de masajes. En la actualidad, sin embargo, la tendencia es a utilizar en forma creciente el aceite de aguacate para uso culinario, por tener entre otras cualidades: un alto punto de humo, excelente sabor y un color verde muy atractivo, siendo preferido por los chef de cocina de la alta gastronomía europea, sustituyendo al aceite de oliva. Reed en el 2001, comparó el aceite de oliva con el aceite de aguacate, determinando que este último presenta mayores niveles de: clorofila, índice de yodo, vitamina E y un menor nivel de acidez libre, lo que constituye una mejor calidad.

¹⁰ ANACAFE. Programa de Diversificación de Ingresos dela Empresa Cafetalera. 15 p.

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

También este aceite extravirgen de aguacates se está comercializando en cápsulas lo que hace ser un buen suplemento dietético y como aerosoles para cocinar o para aliños de platos.

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

2.10. Otros productos de aguacate

Aparte de los productos mencionados en los puntos anteriores, se han desarrollado otros como la deshidratación osmótica, utilizando maltodextrinas y cloruro de sodio (NaCl), ha logrado mantener el aguacate estable en relación al color y la actividad microbiológica esta investigación dirigida por Schwartz en el 2001.

También la Fundación para Innovación Agraria (FIA) en 1997 en México DF. Obtuvo polvo de aguacate, secado por atomización, la que presentó buena estabilidad en relación al color y actividad microbiana, sin embargo, se dejó como recomendación estudiar más acabadamente los tiempos y temperaturas del proceso, ya que el desarrollo de sabores extraños redujo la calidad del producto.

Hay estudios sobre la utilización del carozo como alimento animal, aportando un importante nivel de carbohidratos. Se han reportado en estos productos, niveles altos de taninos que pudieran reducir su digestibilidad, sin embargo, los tratamientos de secado reducen sustancialmente este efecto” según mencionan en la Fundación de Innovación Agraria en 1999, así también Ravindran y Blair en el estudio realizado en 1991.

2.11. Lípidos

“Los lípidos son un conjunto de moléculas orgánicas, la mayoría biomoléculas, compuestas principalmente por carbono e hidrógeno y en menor medida oxígeno, aunque también pueden contener fósforo, azufre y nitrógeno, que tienen como característica principal el ser hidrofóbicas o insolubles en agua y sí en disolventes orgánicos como la bencina, el alcohol, el benceno y el cloroformo”.¹¹ En el uso coloquial, a los lípidos se les llama incorrectamente grasas, ya que las grasas son sólo un tipo de lípidos procedentes de animales. Los lípidos cumplen funciones diversas en los organismos vivientes, entre ellas la de reserva energética (triglicéridos), la estructural (fosfolípidos de las bicapas) y la reguladora (esteroides).

2.11.1. Características generales

Los lípidos son biomoléculas muy diversas; unos están formados por cadenas alifáticas saturadas o insaturadas, en general lineales, pero algunos tienen anillos (aromáticos). Algunos son flexibles, mientras que otros son rígidos o semiflexibles hasta alcanzar casi una total flexibilidad molecular; algunos comparten carbonos libres y otros forman puentes de hidrógeno.

¹¹ <http://www.aula21.net/Nutriweb/grasas.htm>. [Consulta: 21 de junio del 2011].

2.11.2. Clasificación biológica

Los lípidos son un grupo muy heterogéneo que usualmente se clasifican en dos grupos, atendiendo a que posean en su composición ácidos grasos (lípidos saponificables) o no lo posean (lípidos insaponificables).

2.11.2.1. Lípidos saponificables

Simple: lípidos que sólo contienen carbono, hidrógeno y oxígeno.

Acilglicéridos: cuando son sólidos se les llama grasas y cuando son líquidos a temperatura ambiente se llaman aceites.

Céridos (ceras): se conocen como complejos que son los lípidos que además de contener en su molécula carbono, hidrógeno y oxígeno, también contienen otros elementos como nitrógeno, fósforo, azufre u otra biomolécula como un glúcido. A los lípidos complejos también se les llama lípidos de membrana pues son las principales moléculas que forman las membranas celulares.

- Fosfolípidos
- Fosfoglicéridos
- Fosfoesfingolípidos
- Glucolípidos
- Cerebrósidos
- Gangliósidos

Son las unidades básicas de los lípidos saponificables y consiste en moléculas formadas por una larga cadena hidrocarbonada con un número par de átomos de carbono (12-24) y un grupo carboxilo terminal. La presencia de dobles enlaces en el ácido graso reduce el punto de fusión. Los ácidos grasos se dividen en saturados e insaturados.

Saturados: sin dobles enlaces entre átomos de carbono; por ejemplo, ácido láurico, ácido mirístico, ácido palmítico, ácido margárico, ácido esteárico, ácido araquídico y ácido lignogérico.

Insaturados: los ácidos grasos insaturados se caracterizan por poseer dobles enlaces en su configuración molecular. Estas son fácilmente identificables, ya que estos dobles enlaces hacen que su punto de fusión sea menor que en el resto. Se presentan como líquidos, como aquellos que se llaman aceites. Este tipo de alimentos disminuyen el colesterol en sangre y también son llamados ácidos grasos esenciales. Los animales no son capaces de sintetizarlos, pero los necesitan para desarrollar ciertas funciones fisiológicas, por lo que deben aportarlos en la dieta. La mejor forma y la más sencilla para enriquecer la dieta con estos alimentos, es aumentar su ingestión, es decir, aumentar su proporción respecto a los alimentos que se consumen de forma habitual.

Con uno o más dobles enlaces entre átomos de carbono; por ejemplo, ácido palmitoleico, ácido oleico, ácido elaídico, ácido linoleico, ácido linolénico y ácido araquidónico y ácido nervónico.

2.12. Pardeamiento enzimático

En el proceso de industrialización de la palta como puré, uno de los principales problemas es el pardeamiento de tipo enzimático, el cual altera la apariencia del producto e induce cambios en el aroma y en el sabor de la pulpa.

Es necesaria la presencia de tres componentes para que se produzca el pardeamiento enzimático oxidativo según Schmidt – Hebbel en 1981 expone lo siguiente: oxígeno, enzima y substrato oxidable como tirosina, catecol, ácido gálico, hidroquinonas, antocianos y flavonoides, entre otros. Si cualquiera de estos componentes falta o se impide que actúe, se evitará el oscurecimiento enzimático.

Al parecer las enzimas y los substratos están localizados en compartimentos tisulares o celulares distintos, separados por varias membranas. El problema de pardeamiento surge cuando las frutas sufren daño mecánico o fisiológico, cuando se pelan, cortan, golpean o machacan.

2.12.1. Enzima polifenoloxidasas

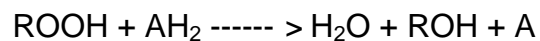
La enzima polifenoloxidasas (PPO o PFO), es una proteína cúprica que cataliza la oxidación de compuestos fenólicos a quinonas, estas prosiguen su oxidación con el oxígeno del aire sobre el tejido hasta formar compuestos oscuros de tipo melanoide, por polimerización.

La PPO se localiza en los plastídios de tejido sano y la mayoría de los compuestos fenólicos se ubican en la vacuola, aislados de ella. Aparentemente, se requiere de alguna forma de daño celular para la activación de la PPO latente, la que reaccionaría con los fenoles liberados de la vacuola produciéndose el pardeamiento.

“De acuerdo a los resultados obtenidos por Opazo *et al.* 2003, los tejidos de paltas cv. Hass sin daño fisiológico y con estado de madurez más avanzado, presentó una mayor actividad de la enzima polifenoloxidasas. El mismo autor obtuvo que, tejidos con daño fisiológico presentaron siempre mayor actividad de la enzima polifenoloxidasas que el tejido sano. Señala, además, que la concentración de fenoles, a partir de sustratos de la PPO, se incrementó en la medida que los frutos de cv. Hass presentan mayor madurez”.¹²

2.12.2. Enzima peroxidasa

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



¹² <http://corpoaguacate.com/pdf/conferencias/pdf/efectotemperatura.pdf> [Consulta: 21 de junio del 2011].

Según la reacción anterior el peróxido estaría siendo reducido, junto con esto resulta oxidado un donador de electrones (AH_2), el ascorbato, los fenoles, las aminas y otros compuestos orgánicos, serían los responsables de dicha oxidación. El producto de esta posee en muchos casos una coloración intensa, lo cual es usado para la determinación colorimétrica de la actividad.

“Esta enzima es capaz de oxidar los substratos fenólicos a quinonas, pudiéndose encontrar en paltas con síntomas severos de pardeamiento de pulpa una mayor actividad enzimática”.¹³

No obstante, es posible inhibir el efecto de las enzimas anteriormente señaladas, para lo cual existen diversos mecanismos, como el escaldado, la eliminación del oxígeno, evitar daños en el tejido, entre otros.

2.12.3. Prevención del pardeamiento enzimático

Existen varias formas de evitar el pardeamiento enzimático en la palta, pero todas ellas apuntan a inhibir la enzima o a eliminar el oxígeno, por ello se pueden ver afectadas las propiedades organolépticas.

2.12.3.1. Escaldado

El control enzimático es obtenido fácilmente, destruyendo las enzimas mediante un corto tratamiento térmico anterior a la congelación y el almacenamiento. Casi todas las enzimas son destruidas irreversiblemente en unos pocos minutos calentándolas a 79 grados Centígrados.

¹³ http://www.avocadosource.com/papers/Chile_Papers_A-Z/M-N-O/OpazoGonzalo2000.pdf
[Consulta: 21 de junio del 2011].

El principal objetivo del tratamiento térmico es desnaturalizar e inactivar las enzimas, con el fin de evitar que los alimentos se encuentren sujetos a su continua actividad.

Las condiciones mínimas de operación para desactivar la PPO son 73 grados Centígrados durante 10 minutos, y las condiciones máximas de operación son 85 grados Centígrados durante 4,6 minutos.

Este mismo autor concluye que a mayor tiempo de tratamiento térmico, la velocidad de degradación del color verde se incrementa, presentando un oscurecimiento enzimático significativo cuando se somete a 80 grados Centígrados o más.

El escaldado es un calentamiento de corta duración, que tiene como objetivo inactivar las enzimas, de modo que estas detengan su actividad metabólica y cese la degradación del alimento. Es típico el escaldado de productos vegetales antes de su congelación, ya que de esta forma se impide el desarrollo de olores y sabores extraños durante el almacenamiento en congelación, prolongando la vida del alimento.

El escaldado debe realizarse en el intervalo de 60 grados Centígrados a 100 grados Centígrados. Siendo típicos los procesos a temperaturas de 80 grados Centígrados durante unos minutos. La correcta determinación requiere de la realización de pruebas empíricas y de la evaluación del producto escaldado por paneles sensoriales.

El escaldado con microondas en diversas frutas, entre ellas palta, concluyó que este disminuye la actividad de la polifenoloxidasas, con lo que se asegura que el color no sea afectado por el oscurecimiento enzimático.

Las enzimas como la peroxidasa pueden ser reactivadas después del calentamiento, puesto que esta es capaz de soportar temperaturas de 85 grados Centígrados. Según estudios indican que, dado que la peroxidasa es muy resistente a la inactivación por el calor, se acepta que existe una destrucción de todas las enzimas de interés una vez inactivada la peroxidasa.

A pesar de que resulta eficaz la inactivación de enzimas por el calor en frutas que se almacenan o mantienen en estado crudo por refrigeración o congelación, puede modificar los caracteres organolépticos del producto.

Los métodos que implican altas temperaturas como forma de conservación, se debe cuidar de mantener el sabor y aroma que posee la fruta. Para lograr este objetivo se deben utilizar de preferencia tratamientos con altas temperaturas por períodos de tiempo corto”.¹⁴

¹⁴ <http://www.ibiologia.unam.mx/zoologia/inv14.swf> [Consulta: 21 de junio del 2011]

3. DISEÑO METODOLÓGICO

La metodología de esta investigación se elaboró mediante un muestreo aleatorio dentro del cuál se eligió materia prima procedente de Chimaltenango en el kilómetro 52. El fruto a utilizar es el aguacate (*Persea americana Hass*).

Los índices de calidad y las propiedades físicas se determinaron mediante diferentes ensayos que se describen a continuación. El presente trabajo utiliza como referencia el método científico, dentro del cual se detallan los pasos que se siguieron para determinar las variables a estudiar.

3.1. Variables

Las variables que se consideraron para la elaboración del informe se clasificaron en dependientes e independientes ya que hay algunas que no son controlables.

3.1.1. Definición operacional de las variables

Como resultado de la revisión en artículos de revistas científicas y trabajos de graduación de diferentes universidades de otros países sobre los factores que influyen en el presente trabajo, se determinaron las variables de entrada a modificar para medir el efecto sobre los resultados; además se determinaron qué factores se mantendrían constantes.

3.1.2. Variables independientes

La composición de la extracción del aceite fijo de aguacate (*Persea americana Hass*) a partir de la pulpa para la cual se utilizaron diferentes metodologías de tratamiento previo a la pulpa con ácido fosfórico y sulfito de sodio por prensado en frío.

3.1.3. Variables dependientes

- Acidez (pH) Se midió el pH con el aceite fijo de aguacate (*Persea americana Hass*).
- Índice de acidez Se midió la cantidad de miligramos de hidróxido potásico necesarios para neutralizar los ácidos grasos libres en 1 gramo de grasa.
- Índice de saponificación Se midió el número de miligramos de hidróxido potásico que se necesita para neutralizar todos los ácidos grasos que contienen en 1 gramo de grasa.
- Índice de yodo Se midió la instauración de ácidos grasos y se expresa en términos del número de centigramos de yodo absorbido por gramo de aceite (% yodo absorbido).
- Índice de peróxidos En este método se midieron los miliequivalentes de peróxido por 100 g de aceite, que oxidan el ioduro de potasio bajo las condiciones de la prueba.

- **Material insaponificable** En este se midió la materia insaponificable en la muestra la que corresponde a la parte de una grasa que no puede usarse como base para jabones.
- **Valor de p-anisidina** En este se midió la cantidad de aldehídos en aceites y grasas en una solución de ácido acético, con la que se mide la absorbancia a 350 nanómetros.
- **Ceras** Se determinó la cantidad de ceras en el aceite de aguacate para evitar que se nuble.
- **Gomas** En esta prueba se determinó la cantidad total de fosfátidos y sustancias pegajosas que no interfieren de forma clara con la acidez del aceite.
- **Valor de DOBI** Se midieron las moléculas de caroteno que absorben la luz a 446 nanómetros, mientras que sus productos oxidados absorben la luz a 270 nanómetros.
- **Valor de Totox** Se midió la calidad del aceite por medio de su grado de oxidación.
- **Solubilidad de grasas** En este se midió la turbidez en el aceite en los distintos tubos de ensayo con diferentes reactivos.

3.2. Delimitación del campo de estudio

- Industria: cosmética, alimentos y farmacéutica.
- Proceso: extracción del aceite fijo de aguacate (*Persea americana Hass*) a partir de la pulpa utilizando dos inhibidores enzimáticos.
- Etapa del proceso: determinación de índices de calidad y propiedades fisicoquímicas para definir el tratamiento del aceite crudo obtenido por prensado en frío.
- Ubicación: la finca de donde proviene el aguacate utilizado para este estudio situada en Chimaltenango en el kilómetro 52, que esta cultivado a 2 500 metros sobre el nivel del mar; sin embargo, con una altitud de 800 metros, para evitar problemas con enfermedades, principalmente de las raíces. La temperatura y la precipitación son los dos factores de mayor incidencia en el desarrollo del cultivo.
- Clima: frío se mantiene a una temperatura de 18 grados Centígrados aproximadamente.

3.3. Recursos humanos disponibles

Investigador: Jorge Antonio Doradea

Asesores: Inga. Qca. Telma Maricela Cano Morales

Ing. Qco. Mario José Mérida Meré

Colaboradores: Julio Crespo

3.4. Recursos materiales disponibles y equipo

El aceite que se debe extraer de la materia seca de aguacate del fruto con nivel de madurez tipo D, esto se hace para determinar la composición del aceite extraído con diferentes tratamientos previos en la pulpa de aguacate (*Persea americana Hass*).

Se deben utilizar los frutos catalogados como maduros por el color de la cáscara (verde) para solventes y para extraer por prensado en frío, para esto se busca un nivel de madurez tipo D según la tabla V. Los reactivos químicos, utilizados se describen en la sección de metodología experimental.

Tabla V. Niveles de madurez del aguacate (*Persea americana Hass*)

Nivel de Madurez	Nombre	Fuerza media de penetración (gramos de fuerza)	Dureza al tacto	Color de la cáscara
A	Verde	Mayor que 40	Dureza extrema	Verde negro
B	Sazón firme	25 – 40	Firme duro	Negro
C	Sazón suave	10 – 24	Firme suave	Negro
D	Maduro	Menor que 10	Blando	Negro – púrpura

Fuente: International Society of Nutrigenetics/Nutrigenomics (ISNN). Revista Mexicana de Ingeniería Química versión 1665 – 2738. 100 p.

3.4.1. Materia prima y reactivos

- Aguacate (*Persea americana Hass*)
- Éter de petróleo
- Ácido fosfórico
- Bisulfito de sodio
- Ácido ascórbico
- Cloroformo
- Yoduro de potasio A.C.S o A.R
- Tiosulfato de sodio ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) grado A.C.S.
- Yoduro de potasio grado A.C.S.
- Dicromato de potasio
- Solución soluble de almidón
- Hidróxido de potasio
- Fenolftaleína
- Alcohol etílico
- Ácido clorhídrico
- Alcohol al 95%
- Ioduro de potasio
- Dicromato de potasio
- Acetona
- Ácido fosfórico
- Indicador azul de bromofenol
- Isooctano (2, 2,4-trimetilpentano) ópticamente claro
- Ácido acético glacial
- P-anisidina
- Acetona de grado espectral
- Trifloruro de boro

- Cloruro de sodio
- Sulfato de sodio anhidro
- Sulfito de sodio

3.4.2. Equipo

- Prensa tipo Carver para la extracción a partir de la pulpa seca del aguacate.
- Equipo de laboratorio instrumental (cromatografía de gases marca XL Perkin Elmer Clarus 500, con detector de masa, Integrador Pe Nelson).

3.4.2.1. Equipo de laboratorio químico

- Balanza analítica marca Ohaus Adventurer 0,0001 gramo.
- Plancha de calentamiento marca Ohaus.
- Equipo de destilación por reflujo, marca kimax 24'40.
- Viscosímetro, viscotester DC 6V Rion.
- Refractómetro.
- Centrífuga, IEC HN-S II, Centrifuge.
- Equipo de extracción soxhlet 55/50 pyrex England No. 3840 – LCO, balón de destilación 250 mililitros. Pirex 24/40 No. 4100.

3.4.2.2. Equipo de extracción por método de solventes a partir de la pulpa de aguacate seca

- Para la extracción soxhlet
 - Extractor soxhlet
 - Balón esmerilado de una boca de 250 mililitros
 - Cápsulas de extracción de celulosa

- Equipo de separación
 - Ampolla de decantación de 250 mililitros
 - 3 Beackers de 250 mililitros
 - Embudo de vidrio
 - Papel filtro

3.4.3. Extracción de aceite fijo de pulpa de aguacate (*Persea americana Hass*) por medio de prensado en frío con prensa tipo Carver

Se puso en funcionamiento el tornillo prensa en donde se introduce un lote de materia seca, hasta alcanzar una presión de 7 – 9 toneladas métricas, logrando que el extrusor trabaje a su capacidad, esto sucedió para el lote con tratamiento de sulfito de sodio.

Para el lote con preparación de ácido fosfórico se llegó a una presión de 5,5 – 9 toneladas métricas, por lo que se extrajo el aceite crudo y se trasladó a recipientes, para realizar las pruebas de calidad y para determinar propiedades fisicoquímicas del extracto.

3.4.4. Extracción de lixiviación en caliente soxhlet

Se realizó la extracción de lixiviación en caliente soxhlet con el objetivo de determinar el rendimiento de aceite crudo con solvente y compararlo con el rendimiento por prensado, las muestras son de aceite fijo de aguacate (fase inmóvil), así también las muestras de residuo que se obtienen de la extracción en prensado, para dicha extracción se utilizó hexano como solvente (fase móvil).

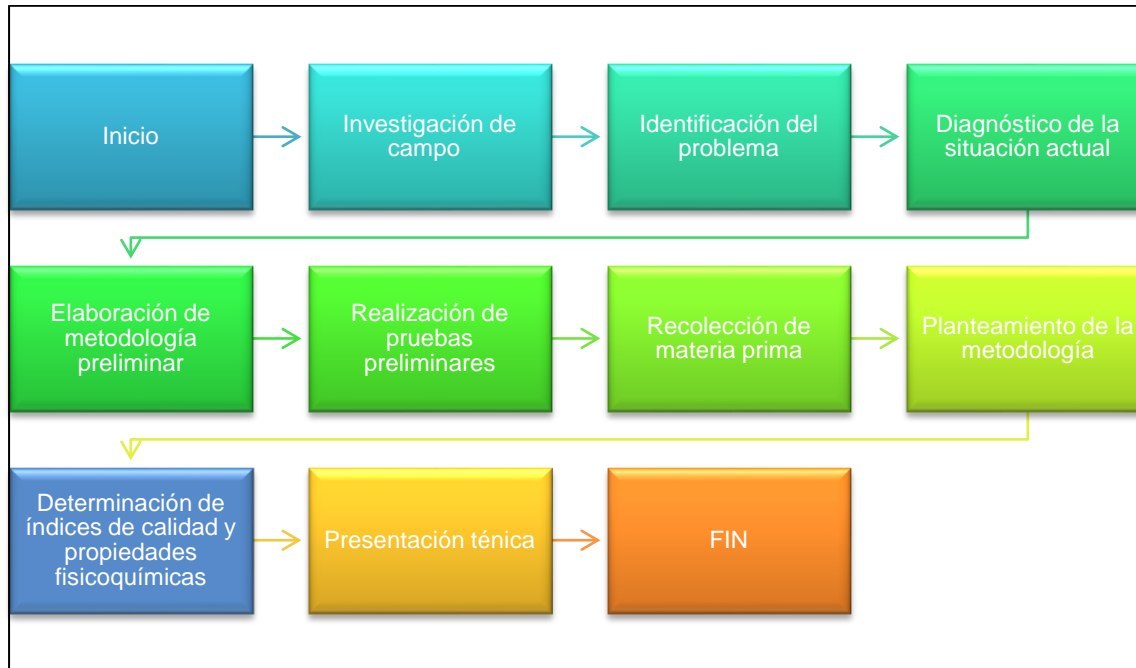
3.4.5. Cromatografía de gases aplicada a espectrometría de masas

Esta técnica se empleó para la identificación de mezclas complejas en una sola operación, como el material volátil y ácidos grasos presentes dentro de la muestra de aceite crudo.

3.5. Técnica cuantitativa

Se utilizó una técnica cuantitativa para buscar las causas del fenómeno a través de hipótesis. Esto se realizó por medio de las variables preestablecidas, agrupadas como muestras.

Figura 4. **Diseño general de la técnica cuantitativa**



Fuente: elaboración propia.

3.6. **Recolección y ordenamiento de la información**

La extracción del aceite fijo de aguacate (*Persea americana Hass*) se realizó con materia prima de una finca situada en Chimaltenango que está ubicada en kilómetros 52, esta posee un clima templado. A partir de esta variedad se realizó una variación mediante el inhibidor enzimático agregado a la pulpa, se utilizó ácido fosfórico y sulfito de sodio como antioxidantes.

Se trabajó con las muestras provenientes de la extracción con la prensa tipo Carver, en donde se establecieron cinco repeticiones por cada tratamiento a la pulpa y se realizó una variación con dos inhibidores enzimáticos, lo que dio como resultado un total de 10 muestras para analizar.

3.7. Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información

Para determinar las características físicas y químicas del aceite es necesario definir la metodología adecuada para la extracción e identificar los ensayos para caracterizarlo.

3.7.1. Extracción de aceite fijo de aguacate (*Persea americana Hass*) con la pulpa utilizando prensa tipo Carver

Con la prensa se realizó una extracción a un rango de presión de 7 – 9 Tm, donde se introdujo la materia seca, la cual se comprime hasta que se extrajo la mayor cantidad de aceite crudo.

El aceite obtenido con el filtro al vacío a una temperatura de 65 – 70 grados Centígrados y se desechó la materia sobrante de la filtración y parte de la torta sobrante del prensado. Se utilizó como método comparativo la extracción por lixiviación soxhlet.

3.7.2. Extracción de lixiviación en caliente soxhlet

Se realizó la extracción de lixiviación en caliente soxhlet con el objetivo de determinar el porcentaje de rendimiento de aceite con solvente y compararlo con la extracción por prensado, la muestras de aceite de la pulpa de aguacate (fase inmóvil), así también la muestras del residuo que se obtuvieron de la extracción en prensado, para lo cual se utiliza hexano como solvente (fase móvil).

Procedimiento:

- Se incorporó una cantidad de muestra seca y molida, como fase inmóvil, según la capacidad del dedal de celulosa.
- Se pesó y se dejó espacio para tapar con algodón.
- Se colocó el dedal en el tubo de extracción y adicionó el solvente como la fase móvil (375 mililitros) al matraz previamente tarado.
- Se extrajo la muestra de aceite con solvente para lograr varios ciclos por hora.
- Se tomó la temperatura de extracción.
- Se completó la extracción, eliminando el solvente en el rotavapor evaporando con precaución todo el solvente.
- Se pesó la muestra separada.

Para la separación se llevó a cabo mediante el calentamiento de la sustancia (rotaevaporando), al tener distinto punto de ebullición del solvente que se evaporó.

Material y equipo

- Soportes
- Matraz de 500 mililitros de fondo plano
- Cartuchos o dedales extractores
- Refrigerantes con serpentín para la extracción

- Embudo
- Probeta de 250 mililitros
- Pinza
- Balanza
- Espátula

Solvente

- n-Hexano (C_6H_{14}) grado reactivo al 96%

3.7.3. Humedad y materia volátil NMX F-211-SCFI-2006

Este método determinó la humedad y cualquier otro material volátil bajo las condiciones establecidas por el mismo. Ya que el agua tiende a asentarse en las muestras del aceite que se han reblandecido o fundido, se tuvo cuidado para mezclar muy bien las muestras de aceite. También se ablandó la muestra con calentamiento suave y se mezcló vigorosamente con un mezclador eficiente.

Procedimiento

- Se pesaron de 5 a 20 gramos de la muestra bien mezclada en un vaso tarado que haya sido secado y enfriado previamente en el desecador.
- Se calentó la muestra sobre la placa eléctrica, se gira el vaso lentamente con la mano, para evitar que se salpique la muestra si hay ebullición muy rápida de la humedad.

- La aproximación del punto final se juzgó por el cese de burbujas de vapor y también por la ausencia de espuma. Se juzgó el punto final colocando un vidrio de reloj limpio y seco sobre el vaso. La presencia de vapor se indicó por la condensación sobre el vidrio de reloj. No se debe calentar la muestra por arriba de 130 grados centígrados, excepto al final de la prueba.

Se expresa el resultado como:

$$\% \text{Humedad y materia volátil} = \frac{M_2 - M_3}{M_1} * 100$$

(Ecuación 1)

Donde:

M_1 = peso de la muestra inicial en gramos

M_2 = peso de la muestra final en gramos

3.7.4. Impurezas indeseables, olor NMX-F-473-SCFI-2006

La concentración de sustancias odoríferas en aceite es generalmente muy baja; sin embargo, el número de constituyentes puede llegar a ser muy alto. Estos pueden ser eficientemente eliminados a través de cada uno de los pasos de la refinación o un inadecuado almacenamiento de los aceites refinados pueden dar origen a la aparición de olores indeseables, por lo que se hace necesaria la evaluación.

Este método se basa en el calentamiento del aceite o grasa y en el desprendimiento de sustancias volátiles que son evaluadas organolépticamente, a la temperatura establecida en la norma y diferentes a los olores que son característicos de las semillas de donde procede el aceite o grasa.

En el caso que la muestra sea sólida a temperatura ambiente, esta se calienta en un baño maría, a temperatura controlada por encima de su punto de fusión, con el propósito de lograr una completa homogeneidad. Debe estar seca y limpia, asegurando por filtración de la muestra caliente a través de un papel filtro de poro fino y de ser necesario agregando ayuda filtro a la muestra antes de filtrarla.

Procedimiento

- Se pesaron 50 gramos de muestra en un vaso de precipitado de 250 mililitros; se calentó en baño maría y cuando se obtuvo la temperatura máxima de 60 grados Centígrados, se procedió a efectuar la prueba organoléptica, en la cuál no se deben percibir olores extraños o rancios. Esta prueba se realizó por duplicado.
- Al realizar la prueba, se percibe un olor característico ligero, no desagradable y peculiar a las semillas u origen del cual procede, bajo la temperatura de experimentación determinada, se considera el producto como aceptable.

3.7.5. Solubilidad de grasas

Instrumentos

- Soporte con tubos de ensayo

Reactivos

- Aceite vegetal
- Alcohol etílico
- Benceno
- Cloroformo

Procedimiento

- En cuatro tubos de ensayos se vertieron de 5 a 7 gotas de aceite vegetal. En el primer tubo se añadieron 2 mililitros de agua, en el segundo 2 mililitros de alcohol, en el tercero 2 mililitros de benceno y en el cuarto 2 mililitros de cloroformo. La mezcla en los tubos de ensayo se agitó enérgicamente.
- Se observaron los siguientes cambios: en el primer tubo se formó una emulsión inestable que se separa rápidamente; en el segundo, una disolución turbia, que indicó la baja solubilidad del aceite en alcohol; en el tercero y el cuarto tubo de ensayo se formaron disoluciones transparentes debido a la solubilidad del aceite en benceno y cloroformo.

3.7.6. Determinación de los índices de calidad de los aceites

Se puede juzgar a partir de sus constantes físicas y químicas o sus índices de calidad. Las constas físicas más importantes de las grasas son la temperatura de fusión, de endurecimiento y la viscosidad; entre las químicas se destacan el número ácido (índice de acidez), el índice de yodo, el índice de saponificación, entre otros.

3.7.6.1. Método de índice de yodo por Wijs (Método Oficial AOCS Cd 1-25)

El índice de yodo es una medida de la instauración de ácidos grasos y se expresa en términos del número de centigramos de yodo absorbido por gramo de muestra (porcentaje de yodo absorbido).

Materiales y equipo

- 1 Erlenmeyer de boca ancha de 250 mililitros con tapón
- 1 Erlenmeyer de 1000 mililitros con tapón
- 3 pipetas de 5, 20 y 25 mililitros de capacidad cada una
- Pinzas para bureta.
- Soporte universal.

Reactivos

- Yoduro e potasio A.C.S. o A.R.
- Solución de Wijs
- Tiosulfato de sodio ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) grado A.C.S.
- Yoduro de potasio grado A.C.S.

- Dicromato de potasio
- Solución soluble de almidón

Preparación de soluciones:

- Yoduro de potasio:
 - Se disolvieron 100 gramos de yoduro de potasio en agua destilada y se aforó con 1000 mililitros con agua desionizada.
- Solución de indicador de almidón
 - Se hizo una mezcla homogénea de 10 gramos de almidón en agua fría destilada.
 - Se le añadió 1 litro de agua hirviendo, se agitó vigorosamente y se dejó enfriar.
 - Para preservar el indicador se añadió ácido salicílico (1,25 gramos sobre un litro). Se almacenó la solución, refrigerándose a una temperatura de 4 a 10 grados Centígrados.
 - Para mantener el indicador por dos o tres semanas es necesario introducirla a refrigeración cuando llegue al punto final de la titulación (de azul a incoloro).
- Solución de tiosulfato de sodio a 0,1 N
 - Se disolvieron 24,9 gramos de tiosulfato de sodio en 1 litro de agua en agua destilada.

- Estandarización de la solución de tiosulfato de sodio
 - Pesar 0,16 a 0,22 gramos de dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$) dentro de un erlenmeyer de 500 mililitros.
 - Se disolvieron en 25 mililitros de agua y luego se añadieron 5 mililitros de ácido clorhídrico y 20 mililitros de solución de yoduro de potasio que se preparó anteriormente, luego se agitó por 5 minutos, después se agregaron 100 mililitros de agua destilada. Luego se tituló con solución de tiosulfato de sodio, se agitó continuamente hasta que se tornó color azul.

Nota: la concentración de la solución de tiosulfato de sodio está expresada en términos de Normalidad (N).

Procedimiento:

- Se pesó la muestra (según tabla VII) dentro de un erlenmeyer de 500 mililitros y se añadieron 15 mililitros de tetracloruro de carbono.

Tabla VI. **Relación de índices de yodo contra peso de muestra a utilizar**

Índice de Yodo	Peso g \pm 0,001
<5	3
5-20	1
21-50	0,4
51-100	0,2
101-150	0,13

Fuente: Manual AOCS método Cd 1 - 25. 65 p.

- Se pipetearon 25 mililitros de solución Wijs y adicionarlo a la muestra. Se tapo en el erlenmeyer, y se agitó hasta obtener una mezcla homogénea.
- Se almacenó la muestra en un lugar oscuro por 30 minutos a una temperatura de 25 grados Centígrados.
- Después de los 30 minutos se sacó el frasco donde se almacenaba y se añadieron 20 mililitros de solución de yoduro de potasio y 150 mililitros de agua destilada.
- Se prepararon y condujeron un blanco con cada grupo de muestras simultáneamente y se realizó el mismo procedimiento.
- Se tituló con solución 0,1 N de tiosulfato de sodio cuidadosamente y se agitó constantemente. Se continuó la titulación hasta que tuvo un color amarillo claro, se añadió de 1 a 2 mililitros de indicador de almidón y se continuó la titulación hasta que se decoloró por completo.

Cálculo

$$\text{Índice de yodo} = \frac{B-S * N * 12,69}{p m}$$

(Ecuación 2)

Donde

B = gasto de titulación del blanco (mL)

S = gasto de titulación de la muestra (mL)

N = normalidad de la solución de tiosulfato de sodio

Pm = peso de la muestra

3.7.6.2. Método de Índice de Saponificación (Método oficial AOCS Cd3–25)

El índice de saponificación es la cantidad de álcali para saponificar una cantidad definida de muestra. Se expresa como el número de miligramos de hidróxido de potasio (KOH) requeridos para saponificar un gramo de muestra.

Materiales y equipo

- Dos condensadores
- Una pipeta 50 mililitros
- Dos balones de 150 mililitros
- Una pipeta de 1 mililitros
- Una bureta
- Pinzas para bureta
- Balanza analítica
- Estufa o plancha de calentamiento
- Soporte universal

Reactivos

- Hidróxido de potasio
- Fenolftaleína
- Alcohol etílico
- Ácido clorhídrico

Soluciones

- Preparación de la solución de hidróxido de potasio.
 - Se pesaron 10 gramos de hidróxido de potasio en un frasco de 1,5 a 2 litros.
 - Luego se agregaron 1,5 litros de alcohol etílico.
 - Luego se hirvió en un baño de agua y se puso en reflujo en un condensador durante 30 a 60 minutos.
 - Se destiló y colectó el alcohol.
 - Se disolvieron 40 gramos de hidróxido de potasio bajos en carbonatos en un litro de alcohol destilado a una temperatura no mayor de 15 grados Centígrados.
- Para el indicador de fenolftaleína al 1% diluirlo en alcohol etílico al 95%.
- Utilizar solución de ácido clorhídrico a 0,5 N.

Procedimiento

- Se pesaron 5 gramos de muestra.
- Luego se agregaron 50 mililitros de la solución de hidróxido de potasio alcohólica con una pipeta.
- Se preparó un blanco de forma simultánea a la muestra.

- Se colocaron los balones (blanco y muestra) en el condensador hasta que la saponificación se completó (aproximadamente 1 hora).
- Después de obtener la muestra colectada, se lavó el condensador con una cantidad mínima de agua destilada (de 1 a 2 mL).
- Se tituló con la solución de ácido clorhídrico utilizando la solución de fenolftaleína como indicador.

Cálculos

$$SAP = \frac{56,1 * N \text{ HCl} * \text{Titulación blanco} - \text{Titulación muestra}}{\text{peso de la muestra}}$$

(Ecuación 3)

Donde:

Titulación en blanco o muestra: se refiere al volumen consumido de HCl.

N es la titulación ya sea de la muestra o la prueba en blanco.

N es la normalidad de la solución de ácido clorhídrico.

3.7.7. Método de número de acidez (Método oficial AOCS Ca5a-40)

Este método determina los ácidos grasos libres existentes en la muestra se aplica en aceites vegetales crudos y refinados, aceites marítimos y grasas animales.

Materiales y equipo

- Dos balones de 150 mililitros
- Una pipeta de 1 mililitro
- Una bureta
- Pinzas para bureta
- Balanza analítica
- Estufa o plancha de calentamiento
- Soporte universal

Reactivos

- Hidróxido de potasio
- Fenolftaleína
- Alcohol etílico

Soluciones

- Alcohol etílico al 95%. El alcohol debe tener un definido, distinguido y específico punto final con fenolftaleína y debe ser neutralizado con una base, pero que permanezca el color rosado justo antes de ser utilizado.
- Solución indicadora de fenolftaleína al 1% en alcohol al 95%.
- Solución de hidróxido de sodio, recientemente estandarizada. Ver la siguiente tabla para determinar la normalidad apropiada de la solución de NaOH dependiendo del rango de la concentración de ácidos grasos libres esperando en la muestra.

Tabla VII. **Relación entre el porcentaje de ácidos grasos libres y la concentración de la solución titulante**

Rango AGL (%)	Muestra (g)	Alcohol (mL)	Concentración alcalina (N)
0,00 – 0,2	56,4 ± 0,2	50	0,1
0,2 – 1	28,2 ± 0,2	50	0,1
1,0 – 30,0	7,05 ± 0,05	75	0,25
3,0 – 50,0	7,05 ± 0,05	100	0,25 – 1,0
50,0 – 100	3,525 ± 0,001	100	1,0

Fuente: Manual AOCS método Ca 5a - 40. 40 p.

Procedimiento

- Se mezcló la muestra antes de pesarla; no se calentó la muestra más de 10 grados Centígrados arriba de su punto de fusión.
- Se utilizó la tabla VIII para determinar el peso de muestra. Se pesó la cantidad designada para la muestra en un earlenmeyer.
- Se adicionó la cantidad específica de alcohol caliente neutralizado y 2 gotas del indicador.
- Se tituló la solución estándar de hidróxido de sodio, agitando vigorosamente hasta que aparezca el primer color rosado permanente, de la misma intensidad que la del alcohol neutralizado antes de la adición de la muestra. El color persistió por 30 segundos.

Cálculos

- Porcentaje de ácidos grasos libres en la mayoría de tipos de grasa y aceites se calcula como ácido oleico, sin embargo, para los aceites de coco y palmiste, es frecuente que se exprese como ácido láurico, y en el aceite de palma, en términos de ácido palmítico.

$$\text{AGL, como oleico} = \frac{\text{mL base} \cdot \text{N} \cdot 28,2}{\text{peso de la muestra}}$$

$$\text{AGL, como láurico} = \frac{\text{mL base} \cdot \text{N} \cdot 20,0}{\text{peso de la muestra}}$$

$$\text{AGL, como palmítico} = \frac{\text{mL base} \cdot \text{N} \cdot 25,6}{\text{peso de la muestra}}$$

(Ecuaciones 4, 5 y 6)

- Los ácidos grasos libres son frecuentemente expresados en términos de valor de acidez, en un lugar del porcentaje de ácidos grasos libres.
- El valor de acidez se define como el número de miligramos de KOH necesario para neutralizar los ácidos grasos libres (como oleico) a valor de acidez, multiplíquese por el porcentaje de ácidos grasos libres por 1,99.

Recomendaciones

- El isopropanol al 99%, puede ser utilizado como solvente alternativo con aceites vegetales crudos y refinados.

- Tape y agite vigorosamente durante 1 minuto si el aceite se ha cubierto de dióxido de carbono gaseoso.

3.7.8. Materia insaponificable (Método oficial AOCS Ca6a–40)

La materia insaponificable es la parte de una grasa que no puede usarse como base para elaboración de jabones.

Materiales y equipo

- Equipo de destilación por reflujo
- Ampolla de separación de 500 mililitros
- Beakers

Reactivos

- Éter de petróleo
- Fenolftaleína
- Alcohol al 95%
- Solución acuosa de KOH al 50%
- Solución de Hidróxido de sodio 0,02 N

Procedimiento

- Se pesaron 5 gramos de muestra dentro de un erlenmeyer o un matraz.
- Se agregaron 30 mililitros de alcohol al 95% y 5mL de KOH al 50%.
- Se puso a reflujo durante 1 hora hasta completar la saponificación.

- Se transfirió la ampolla de decantación y se lavó el matraz con 40 mililitros de alcohol al 9%, se completó la transferencia con 80 mililitros de agua destilada, se continuaron los lavados con pequeñas cantidades de éter y se agregó al cilindro.
- Se dejó enfriar hasta 20 o 25 grados Centígrados y luego se agregaron 50 mililitros de éter.
- Se insertó el tapón a la ampolla de separación y se agitó vigorosamente por 1 minuto y se separaron las dos fases.
- Las fracciones de éter se drenaron de la ampolla de separación.
- Se repitió la extracción usando éter en porciones de 50 mililitros hasta que se completaron de 6 o 7 extracciones, luego se agitó vigorosamente, con cada extracción.
- Se realizaron tres lavados con alcohol al 10% en agua destilada, se agitó vigorosamente y se drenó el alcohol, después de cada lavado, no se removió el éter.
- Se transfirió la capa de éter a un beacker tarado y se evaporó el contenido en baño maría y se completó el secado en el horno de 75 a 80 grados Centígrados, luego se pesó.
- Después de pesar, se agregaron 50 mililitros de alcohol al 95% caliente a 50 grados centígrados neutralizado y se tituló con NaOH 0,02N, usando fenolftaleína de indicador.

- Se hizo un blanco por prueba de materia insaponificable (sin grasa presente).

Cálculos

$$\text{Porcentaje de materia insaponificable} = \frac{A - (B + C) * 100}{\text{peso de la muestra}}$$

(Ecuación 7)

Donde:

A = peso del residuo.

B = peso de grasa ácida (usando 1 mL de 0,02 N de NaOH es equivalente a 0,0056 g de ácido oleico).

C = contenido del blanco.

3.7.9. Índice de peróxidos por el método acético – cloroformo (Método Oficial AOCS Cd8-53)

Este método determina todas las sustancias, en términos de miliequivalentes de peróxido por 1 000 gramos de muestra, que oxidan el yoduro de potasio bajo las condiciones de la prueba.

Generalmente, se asume que las sustancias con peróxidos u otras sustancias similares oxidan la grasa.

Alcance: aplicable a todas las grasas y aceites normales, incluyendo la margarina. Este método es altamente empírico y cualquier variación en la prueba puede provocar variaciones en los resultados.

Materiales

- Pipeta de 0,5 mililitros
- Erlenmeyer de 250 mililitros con tapón de vidrio
- Plancha de calentamiento
- Balanza analítica

Reactivos

- Ácido acético
- Cloroformo
- Ioduro de potasio
- Almidón
- Tiosulfato de sodio
- Dicromato de potasio

Soluciones

- Solución de ácido acético – cloroformo, se mezclaron 3 volúmenes de ácido acético glacial grado reactivo con 2 volúmenes de cloroformo grado reactivo.
- Solución saturada de ioduro de potasio, se preparó recientemente, disolviendo un exceso de KI en agua destilada, recientemente hervida.

- Se aseguró que la solución de ioduro de potasio permaneciera saturada durante su uso, indicado por la presencia de cristales no disueltos.
- Se almacenó en la oscuridad cuando no se utilizó, se probó la solución agregando 2 gotas de solución de almidón a 0,5 mililitros de solución de ioduro de potasio en 30 mililitros de la solución ácido acético – cloroformo. Si se torna color azul se requiere más de una gota de solución de tiosulfato de sodio a 0,1 normal para desaparecer, se descartó la solución de ioduro de potasio y se preparó una nueva, si ese fuera el caso.
- Solución de tiosulfato de sodio ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) 0,1 normal, estandarizada recientemente con una solución de dicromato de potasio de la siguiente manera:
 - Solución de tiosulfato de sodio 0,1 normal se preparó disolviendo 24,9 gramos de tiosulfato de sodio en agua destilada y diluida hasta 1 litro.
 - El estándar primario de dicromato de potasio debe estar finamente molido, secado a 105 grados Centígrados durante 2 horas y enfriado en una desecadora, pesar 0,16 – 0,22 gramos de dicromato de potasio en un balón de 500 mililitros.
 - Se disolvió con 25 mililitros de agua destilada, agregue 5 mililitros de ácido clorhídrico concentrado, 20 mililitros de la solución de ioduro de potasio y agite para mezclar. Se dejó reposar por 5 minutos.

- Luego se agregaron 100 mililitros de agua destilada. Se tituló con una solución de tiosulfato de sodio agitando continuamente hasta que el color amarillo casi desaparezca.

- Se agregaron 100 mililitros de agua destilada. Se tituló con una solución de tiosulfato agitando continuamente hasta que el color amarillo casi desaparezca. Luego se agregaron de 1 – 2 mililitros del indicador de almidón y se continuó con la titulación adicionando lentamente la solución de tiosulfato hasta que el color azul casi desaparezca. La concentración de la solución de tiosulfato de sodio se expresa en términos de su normalidad.

- Solución de tiosulfato de sodio 0,01 normal, exactamente estandarizada. Esta solución se preparó pipeteando exactamente 100 mililitros de tiosulfato de sodio 0,10 normal a un balón de 1 000 mililitros y se aforó con agua destilada recientemente hervida.

- Solución indicadora de almidón, se probó por sensibilidad, preparada al hacer una pasta con 1 gramo de almidón y una pequeña cantidad de agua destilada fría. Se agregó, mientras se agitaba, 200 mililitros de agua hirviendo y continuó hirviendo la solución por unos segundos más. Inmediatamente se quitó el medio de calentamiento y se dejó enfriar.

- Se agregó ácido salicílico (1,25 gramos por litro de solución) para preservar el indicador. Si el indicador se va a almacenar por mucho tiempo, la solución debe guardarse en el refrigerador de 4 a 10 grados Centígrados. Debe prepararse un nuevo indicador cuando el punto final de la titulación, de color azul incoloro ya no está tan definido. Si se almacena bajo refrigeración, la solución es estable durante 3 semanas.

- Prueba de sensibilidad: se colocaron 5 mililitros de solución de almidón en 10 mililitros de agua y se agregaron 0,05 mililitros de solución de ioduro de potasio 0,1 normal recientemente preparada. Se agregó una gota de solución de cloro a 50 partes por millón, que se preparó con 1 mililitro de hipoclorito de sodio comercial al 5% (NaOCl) diluida en un litro de agua. El color azul profundo producido debe ser eliminado por 0,05 mililitros de tiosulfato de sodio 0,1 normal.

Procedimiento

- Se pesaron $5,00 \pm 0,05$ gramos de muestra en un erlenmeyer de 250 mililitros con un tapón de vidrio. Luego se agregaron 30 mililitros de solución de ácido acético – cloroformo 3:2. Se agitó para disolver la muestra. Se agregaron 0,5 mililitros de solución saturada de ioduro de potasio.

- Se dejó que la solución reposar; agitando ocasionalmente a cada minuto. Exacto y luego se agregaron inmediatamente 30 mililitros de agua destilada.

- Se titule con tiosulfato de sodio 0,1 normal, acondicionándolo gradualmente, agitando constantemente. Se continúo la titulación hasta que el color amarillo casi desaparezca.
- Se agregaron 0,5 mililitros de la solución de almidón, y continúe la titulación con agitación. Cerca del punto final se agregó el tiosulfato en gotas hasta que se difuminó el color azul.
- Se hizo una determinación con un blanco. La titulación no debe exceder 0,1 mililitros de la solución de tiosulfato de sodio 0,1 normal.

Cálculos

$$\text{Valor de peróxido (} \frac{\text{meq}}{1\ 000} \text{g)} = \frac{\text{S-B} * \text{N} * 1\ 000}{\text{peso de la muestra}}$$

(Ecuación 8)

Donde:

B = titulación en blanco

S = titulación de la muestra

N = normalidad de la solución de tiosulfato de sodio

3.7.10. Método de cuantificación de ceras (Método oficial AOCS)

Este método se aplica con el objetivo de determinar la cantidad de ceras presentes en el aceite.

Las ceras son eliminadas de forma parcial durante la refinación para evitar que el aceite se nuble.

Materiales

- Dos tubos de ensayo
- Turbidímetro de Hach
- Balanza analítica

Reactivos

- Acetona

Procedimiento

- Se preparó el primer tubo de ensayo aforado con acetona, verificando que se encontrara libre de impurezas.
- Se leyó el valor de NTU en el turbidímetro para la acetona. Ajustando el aparato a escala 2.
- Se taró el segundo tubo de ensayo y se pesan 4,6 gramos de muestra.
- Se agitó la muestra preparada con acetona (17 gramos aproximadamente) hasta formar una mezcla homogénea.
- Se realizó la primera lectura de la muestra en el turbidímetro a una escala de 2, si no existiese resultado de aumentar la escala a 20 a 200 si es necesario.

- Se procedió a hacer el cálculo de ceras por medio de la siguiente fórmula:

Cálculos

$$\text{Cera ppm} = \text{NTU Muestra} - \text{NTU blanco} * 39,2 + 40,1$$

(Ecuación 9)

3.7.11. Determinación de gomas (Método oficial AOCS)

Definición de la prueba: determina la cantidad total de fosfátidos y sustancias pegajosas que no interfieren de forma clara con la acidez del aceite. Se basa en un proceso de desgomado a escala laboratorio en donde los fosfátidos son hidratados para hacerlos insolubles en el aceite y por centrifugación separarlos. Las gomas producen pérdidas en el refinado y disminuye la vida de almacenamiento de un producto.

Materiales y equipo

- Beacker de 400 mililitros
- Pipeta de 10 mililitros
- Gotero, estufa con agitador magnético
- Tubos de ensayo
- Balanza analítica, centrífuga

Reactivos y soluciones

- Se pesaron 100 gramos de muestra y se colocaron en el Beacker de 400 mililitros.

- Se agregó una muestra de 1 gota de ácido fosfórico y 10 mililitros de agua destilada hervida.
- Se calentó la mezcla a 70 grados Centígrados con agitación durante 10 minutos.
- Se taró y llenó un tubo de ensayo con la muestra (o los que sean necesarios), para colocarlos en la centrífuga durante 10 a 15 minutos.
- Se trasvasó el aceite separado en la centrífuga.
- Se realizaron dos lavados consecutivos con hexano a las gomas depositadas en el tubo de ensayo y agregarlas a un beacker de 250 mililitros.
- Se terminó de sacar todas las gomas del tubo de ensayo con espátula y se destiló con hexano calentando la muestra a 70 grados Centígrados en el horno.
- Se pesó el beacker que contiene gomas secas.
- Se calculó el porcentaje de gomas de acuerdo con:

Cálculos

$$\text{Gomas} = \text{PG} - \text{PB}$$

(Ecuación 10)

Donde:

PG = peso del beacker más el peso de las gomas secas

PB = peso del beacker

3.7.12. Prueba de frío para aceites (Método oficial AOCS Cc11-53)

En este método se midió la resistencia de la muestra a la cristalización y es comúnmente utilizado como un índice de la winterización y procesos de eliminación de estearina.

Alcance: aplicable a todos los aceites normales animales y vegetales revinados y secos.

Materiales

- Botella de vidrio transparente limpia y seca de 4 onzas
- Baño de maría de hielo picado
- Plancha de calentamiento

Reactivos

- Ninguno

Procedimiento

- Se filtró una cantidad suficiente de muestra (200 a 300 mililitros) por medio de papel filtro y luego se calentó la porción filtrada.

- Se agitó continuamente la muestra mientras se calentó y luego se retiró cuando la temperatura llegó a 130 grados Centígrados.
- Se llenó una botella con la muestra completamente y se colocó un tapón limpio y seco. Se ajustó la muestra y la botella a temperatura ambiente con una parafina.
- Se introdujo la botella con la muestra en el baño con hielo y se refrigeró. Es indispensable que el baño se mantenga a 0 grados Centígrados.
- Se revisó periódicamente (cada ½ hora) procurando que el aceite se mantuviera claro y brillante. Se observó que no tuviera cristales grasos o esté nublado.
- No se confundieron las pequeñas burbujas de aire con cristales. La prueba se terminó cuando se dio el nublamiento, se anotó el tiempo que tardó el aceite para llegar a ese estado.

Recomendaciones

- El Comité Técnico de AOCS ha determinado que es satisfactorio utilizar congelador mecánico, que contiene baffles adentro del baño para amortiguar los efectos armónicos del sistema de enfriamiento mecánico. Se plantea una colaboración al estudio del método propuesto.
- El propósito del tratamiento con calor preliminarmente espera remover trazas de humedad y destruir algún núcleo cristalino que pueda persistir. De lo contrario habrá interferencia en la prueba, causando nublamientos o cristalización prematura.

3.7.13. Porcentaje de jabón en los aceites por el método de titulación (Método oficial AOCS Cc17-79)

El método de titulación determinó la alcalinidad de la muestra como oleato de sodio.

Alcance: aplicable solamente para aceites vegetales.

Materiales y equipo

- Cristalería
- Erlenmeyer de 500 mililitros
- Bureta 100 mililitros, graduada en unidades de 0,05 mililitros

Reactivos y soluciones

- Solución de acetona al 98%
- Solución estandarizada a 0,01 N de HCl
- Solución indicadora de azul de bromofenol al 0,4 % en agua

Procedimiento

- Se colocaron 100 mililitros de la solución acetona – agua en un erlenmeyer de 500 mililitros. Se añadieron 0,5 mililitros de solución indicadora de azul de bromofenol.
- Se neutralizó la mezcla acetona – agua para titulación a el punto final (presencia de color amarillo) con 0,01N de HCl.

- Se añadieron aproximadamente $100 \pm 0,1$ gramos de muestra filtrada bien mezclada a la solución neutralizada.
- Se titularon hasta el punto final con 0,01 de HCl.

Cálculos:

$$\text{Jabón (ppm)} = \frac{V_t \cdot N \cdot 304\,400}{\text{peso de la muestra}}$$

(Ecuación 11)

Donde

V_t = es el volumen de HCl consumidos en la titulación

N = la normalidad del ácido clorhídrico

Jabón como oleato de sodio en ppm

Recomendaciones

- La acetona es altamente inflamable ya que se pueden formar peróxidos explosivos con agentes oxidantes, razón por la cual es necesario utilizar la campana de extracción para que no se mezcle con cloroformo.
- Para muestras que contienen altos niveles de jabón se recomienda pesar aproximadamente 10 gramos. Completar rápidamente la titulación una vez iniciada.

3.7.14. Valor de p-anisidina (Método oficial AOCS Cd18–90)

El valor de p-anisidina es definido por convección como 100 veces la densidad óptica medida a 350 nanómetros en una cubeta de 1 centímetro, de una solución conteniendo 1 gramo de aceite en 10 mililitros de solución solvente y reactivo de acuerdo a lo descrito en el método.

Este método determina la cantidad de aldehídos y principalmente 2 – alquenos y 2,4 –dienos, en aceites y grasas de animal o vegetal por una reacción en una solución de ácido acético, de los aldehídos contenidos en un aceite y la p-anisidina, luego midiendo la absorbancia a 350 nanómetros.

Materiales

- Tubos de ensayo con tapón de fondo de vidrio o tapa de teflón
- Matraz volumétrico de 25 mililitros
- Pipeta o bureta automática

Equipo

- Espectrofotómetro adecuado con absorbancia de 350 nanómetros
- Cubetas de cuarzo de $1,00 \pm 0,01$ centímetros (deben ser idénticas).

Reactivos y soluciones

- Isooctano (2,2,4-trimetilpentano) ópticamente claro
- Ácido acético glacial grado reactivo
- p-anisidina grado reactivo
- 0,25 gramos de p-anisidina en 160 mililitros de ácido acético glacial

Procedimiento

- La muestra debe estar perfectamente clara y seca. Se pesaron de 0,5 a $4,0 \pm 0,001$ gramos de muestra en un matraz volumétrico de 25 mililitros. Se diluyó el volumen con Isooctano.
- Se midió la absorbancia (A_b) de la solución a 350 nanómetros, en una cubeta de cuarzo, con el espectrofotómetro, usando de referencia la cubeta llena de solvente como blanco.
- Se pipeteó exactamente 5 mililitros de la solución aceitosa en un tubo de ensayo y exactamente 5 mililitros del solvente en un segundo tubo de ensayo. Se utilizó una pipeta automática, adicione exactamente 1 mililitros del reactivo p-anisidina (solución) para cada tubo y agite.
- Luego de 10 minutos exactamente, mida la absorbancia (A_s) del solvente en el primer tubo de ensayo en una cubeta a 350 nanómetros, usando una solución del segundo tubo de ensayo como blanco en la cubeta de referencia.

Cálculos

$$P-A.V.= \frac{25* 1,2 A_s - A_b}{m}$$

(Ecuación 12)

Donde

A_s = absorbancia de la solución aceitosa después de la reacción con el reactivo p-anisidina.

Ab = absorbancia de la solución de aceite.

M = peso de la muestra.

3.7.15. Valor de Totox (Método oficial Alfa Lava)

Este método designa un valor que indica la calidad de una grasa o aceite, determinando si su grado de oxidación no es tal que dificultaría su proceso de refinación.

Se aplica principalmente a aceites, pero es aplicable también a grasas.

Materiales y equipo

- Ninguno

Reactivos

- Ninguno

Procedimiento

- Se determinó el valor de peróxido y p-anisidina
- Se obtuvo el valor de Totox de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$\text{Totox} = 2 * \text{Índice de peróxido} + \text{valor de p-anisidina}$$

(Ecuación 13)

Recomendaciones

Son adecuados los crudos o productos que presenten un valor de Totox menor de 10.

3.7.16. Fosfolípidos en aceites vegetales por el Método Nephelmétrico (Método Oficial AOCS Ca19–86)

El método Nephelmétrico mide turbiedad en la mezcla debido a los fosfolípidos. La turbiedad está correlacionada para el nivel de fósforo.

Este método es aplicable a crudos, desgomados, refinados, blanqueados y desodorizado. Si en la muestra de aceite hay presencia de jabón puede dar resultados erróneos.

Materiales y equipo

- Papel filtro
- Embudo
- Beakers de 159 mililitros
- Turbidímetro HACH
- Celdas para Turbidímetro 2,5 * 9,6 centímetros
- Equipo de celdas de estándares (látex)
- Horno microondas o plancha de calentamiento

Reactivos y soluciones

- Acetona grado espectral

Procedimiento

- Se encendió el turbidímetro y se permitió que estuviera encendido 15 minutos antes de usarlo.

- Se calibró el turbidímetro de acuerdo a las instrucciones de manufactura y se llevó a cabo un blanco sobre la acetona.
- Se calentó la muestra de aceite a 50 grados Centígrados en la plancha de calentamiento.
- Se filtró la muestra con papel filtro y embudo.
- Se pesó la cantidad apropiada de aceite en un erlenmeyer de 50 mililitros (ver tabla IX).
- Se añadió acetona hasta los 50 mililitros.
- Se tapó y mezcló bien y se vertió la mezcla en una celda turbidimétrica cerca de 30 mililitros o al nivel de la celda.
- Se tapó la celda y se agitó por 10 segundos.
- Se limpió la celda con un papel fino y se colocó dentro del turbidímetro.
- Se eligió el rango correcto de turbiedad: cualquier 2,2 o 200 unidades nephelométricas de turbiedad (NTU).
- Se tomó la lectura de la turbiedad después de 5 minutos exactamente.
- Se anotó el valor de NTU para el blanco (acetona) y para la muestra.

Tabla VIII. **Relación entre la condición del aceite y el peso de muestra en la determinación de fosfolípidos**

Condición de aceite	Ecuación de la curva	Peso de la muestra (g)
Crudo	$P = (5,89 \cdot \text{NTU}) + 316,4$	0,33
Desgomado	$P = (5,32 \cdot \text{NTU}) + 3,38$	1,67
Primera refinada	$P = (8,26 \cdot \text{NTU}) - 4,49$	1,67
Blanqueado	$P = (1,27 \cdot \text{NTU}) - 0,255$	8,35
Deodorizado	$P = (1,72 \cdot \text{NTU}) - 0,528$	8,35

Fuente: Manual de AOCS método Nephelométrico Ca 19 - 86. 152 p.

- El nivel de fósforo en partes por millón para una clase de aceite puede ser determinado nephelométricamente ya sea estimado el fósforo directamente de una curva de fósforo *vrs.* NTU o por calcular en contenido de fósforo de la ecuación correspondiente a la tabla VII.
- Preparación de correlación gráfica y ecuación para la curva: para una clase de aceite, obtener aproximadamente de 10 a 15 muestras de aceite crudo, desgomado, primera refinada, blanqueado y desodorizado.
- Determinar la turbiedad de cada muestra, usando el peso que se encuentra en la tabla IX.

Recomendaciones

- Precaución: niveles altos de jabón (50-100 mg/l) en aceites vegetales pueden dar resultados erróneos.
- La turbiedad aceptable para la cetona es 0,5 NTU o menos.
- Calentar la muestra facilita la filtración. Muestras de aceites altamente hidrogenados pueden necesitar calor en exceso de 50 grados Centígrados algunos aceites filtrados en la refinería pueden no requerir la filtración. Las muestras de aceites no deben exceder de 0,5% de humedad.
- Las muestras deberán ser pesadas a valores cercanos de 0,01 gramos para la mejor precisión.
- Debe limpiarse la parte exterior e interior de la celda con papel suave y fino.
- La temperatura de la mezcla acetona –aceite previo al análisis debe ser de 25 grados Centígrados.
- La celda con la muestra debe estar bien alineada de acuerdo a las instrucciones de manufactura, cuando sea colocada en el Turbidímetro.
- Si después de 5 minutos. La turbiedad de lectura no se estabiliza repetir el procedimiento.

Nota: para encontrar el contenido de fosfátidos presentes, se multiplica por 30 el resultado del fósforo.

3.7.17. Punto de fusión basado en el método oficial AOCS Cc2-36

El punto de fusión de Wiley fue la temperatura, bajo condiciones de esta prueba, a la que muestra de disco asume una forma esférica y esta dio un índice de la temperatura a que la muestra funde. Este método es aplicable a todo tipo de grasa normal, pero el método no es conveniente para grasas fritas.

Materiales y equipo

- Tubos de la prueba exacta: exacta longitud de aproximadamente 300 milímetros.
- Beacker de vidrio: altura aproximada 200 milímetros y diámetro 85 milímetros.
- Aparato enfriador.
- Plato de acero aproximadamente de 10 milímetros de espesor y 150 milímetros por lado para enfriar la muestra.
- Termómetro, rango 2-68 grados Centígrados que se debe calibrar.

Reactivos y soluciones

- Alcohol etílico
- Agua

Procedimiento

- Se preparó una mezcla alcohol-agua con densidad exactamente igual como la muestra. Se llevó a ebullición, separadamente, agua destilada y 95% alcohol etílico por 10 minutos para eliminar gases disueltos.
- Se llenó el tubo largo de la prueba medio-lleno con el agua caliente y después se agregó alcohol caliente, vertiendo el alcohol por los lados del tubo para evitar la mezcla excesiva. Se usó el plato de acero, este se colocó en el refrigerador para que estuviera completamente frío cuando se usó.
- Se fundió la muestra y filtrarla con papel filtro, para remover cualquier impureza y el último rastro de humedad.
- Se colocó la muestra en los agujeros en el plato de aluminio y que permanezca en el refrigerador o en contacto con el baño o por lo menos 2 horas.
- Se cortó lo que excedía de la muestra sobre el nivel del plato de aluminio, luego se removi6 el disco y se trasladó a una mezcla de alcohol-agua en el tubo de la prueba, el cual se dejó enfriando previamente a 10 grados Centígrados bajo del punto de fusión de la muestra.
- Se colocó el tubo de la muestra en un beacker que contenga agua fría, inserte el termómetro debajo de la burbuja, es justamente debajo del disco. Se rotó el termómetro despacio alrededor del disco para mantener una temperatura uniforme mientras el calor es aplicado debajo del

Beacker. Se calentó el agua despacio y se agitó continuamente con el aire presente.

- Como la temperatura de la mezcla del alcohol-agua se incrementó, el disco graso cambió gradualmente de forma. Cuando empezó a hacer esto, se bajó el termómetro hasta el centro de la burbuja.
- Se continuó rotando el termómetro y se reguló el calor para que en aproximadamente 10 minutos por lo que se subió 2 grados Centígrados de temperatura.
- Se observó la temperatura mientras el disco graso hasta que llegó a ser completamente esférico.
- La primera determinación es exploratoria, establece el rango del punto de fundición.

3.7.18. Valor de Totox basado en el método oficial Alfa Laval

Este método designó un valor que indica la calidad de una grasa o aceite, determinado si su grado de oxidación no es tal que dificultaría su proceso de refinación. Se aplica principalmente a aceites.

Materiales y equipos

- Ninguno

Reactivos y soluciones

- Ninguno

Procedimiento

- Determinar el valor de peróxidos y de p-anisidina de acuerdo con los métodos oficiales AOCS.
- Obtener el valor de todos de acuerdo a la siguiente fórmula.

$$\text{Totox} = 2 \text{ Índice de peróxidos} + \text{valor de p-anisidina}$$

(Ecuación 14)

3.7.19. Índice de DOBI basado en el método original Tirtiaux

Este método fue determinado como un índice de deterioro de la capacidad de blanqueo (Deterioration of Bleach Ability Index) o DOBI, como se le conoce consiste en la relación de carotenos respecto al resto de carotenos oxidados. Las moléculas de caroteno absorben la luz a 446 nanómetros, mientras que sus productos oxidados absorben a 270 nanómetros.

Materiales y equipo

- 2 celdas para espectrofotómetro de 1 centímetro
- 1 balón de 10 mililitro
- 1 Beacker de 100 mililitro
- Estufa

- Espectrofotómetro SPECTRONIC

Reactivos

- Isooctano

Procedimiento

- Se fundió la muestra y se mantuvo el calor para eliminar la humedad, luego se filtró la muestra para eliminar impurezas.
- Se pesaron 100 miligramos de muestra y se aforó en un balón de 10 mililitros con ayuda de isooctano.
- Se preparó una celda con isooctano puro y otra con la muestra preparada.
- Se midieron las absorbancias de la muestra a 446 nanómetros y 270 nanómetros, utilizando el isooctano como blanco.
- Se calculó el DOBI con la siguiente ecuación:

$$\text{DOBI} = \frac{\text{Abs } 446 \text{ nm}}{\text{Abs } 270 \text{ nm}}$$

(Ecuación 15)

- Calcular la cantidad de carotenos en la muestra únicamente realizar la siguiente operación.

$$\text{Caroteno ppm} = 383 \times \text{Abs } 446 \text{ nm}$$

(Ecuación 16)

Donde:

Abs. 446 nanómetros = es la absorbancia de la muestra a 446 nanómetros

Abs. 270nanómetros = es la absorbancia de la muestra a 270 nanómetros

3.7.20. Determinación de metales pesados Fe Zn; Cu Pb; basado en el método oficial de adaptación-Kit de Merck

Los metales pesados presentes en un aceite, que pudieron interferir en el método de extracción utilizando el Kit de la Merck para determinar si hay metales pesados dentro de las muestras de aceite.

3.7.21. Perfil de ácidos grasos por cromatografía gaseosa basado en el método oficial Ce-1-62

Los ácidos grasos son ácidos carboxílicos alifáticos de cadena larga con un número de átomos de carbono. Son los constituyentes de las grasas animales y vegetales diferenciándolas debido a la existencia de unos y no de otros ácidos grasos, así como, la composición en que estos se encuentran.

Materiales y equipo

- Papel filtro
- Beacker de 100 mililitros
- Balón aforado de 25 mililitros
- Pipetas Pasteur
- Pipetas serológicas de 5 mililitros
- Cromatógrafo de gases XL Elmer

- Estufa o plancha de calentamiento
- Integrador PE NELSON

Reactivos

- Solución de hidróxido de sodio 20 gramos en 1 000 mililitros de metanol
- Trifloruro de boro
- Heptano
- Solución saturada de cloruro de sodio
- Sulfato de sodio anhidro

Procedimiento

- Condiciones del Cromatógrafo de gas (Integrador/ método ACGRASO.MTH)
 - Columna: SP 2380 capillary column 2- 4152, 30 m + 0,25 mm, 0,20 μm FILM.
 - Gas: nitrógeno a 6 psi.
 - Detector: FID 260 °C rango 1 atten 4.
 - Temperatura de inyector 250 °C
 - Temperatura de horno 180 °C isotérmica
 - Start time 0
 - End time 25
 - Narrowest PEAK: 1,4 – 3,2 segundos
 - Peak Width: fixed
 - Lockout time: 5,0 minutos
 - Base treatment B to B
 - Area sensitivity: 1 700

- Base sensitivity :1 700
- Skim sensitivity: 0,0

- Preparación de la muestra
 - Se calentó la muestra para fundirla y hacerla fluida, para luego filtrarla por medio del papel filtro con el objetivo de eliminar impurezas.
 - Se colocaron de 0,10 a 0,11 gramos de muestra del aceite en un balón de 25 mililitros.
 - Se agregaron 2,5 mililitros de solución de NaOH, se calentó la mezcla en la estufa sin aplicar calor directo y agitar constantemente para eliminar la humedad.
 - Se agregaron 1,75 mililitros de trifloruro de boro.
 - Se mezcló con 2 mililitros de heptano
 - Luego se aforó con una solución saturada de NaCl.
 - Se agregó 0,5 a 1 gramos de sulfato de sodio anhidro, como absorbente de humedad, dentro del vial listo para inyectar.
 - Se preparó de 1 a 3 μ L de la muestra para realizar una inyección.

Detección de los ácidos grasos

Los tiempos en cada uno de los ácidos grasos son retenidos y se describen a continuación:

Tabla IX. **Tiempos de retención para cada ácido graso en el cromatógrafo de gases**

Nomenclatura del Ácido Graso	Nombre del ácido graso	Tiempo de retención (min)
CO: 60	Caproico	5 700
C08:0	Caprilico	5 900
C10:0	Cáprico	6 200
C12:0	Láurico	6 650
C14:0	Mirístico	7 700
C14:1	Miristoleico	8 300
C15:0	Pentadecanoico	8 700
C16:0	Palmítico	9 400
C17:0	Palmitoleico	10 300
C17:1	Margárico	10 600
C18:0	Esterarico	11 500
C18:1	Oleico	12 500
C18:2	Linoléico	14 000
C18:3	Linolénico	16 000
C20:0	Araquídico	22 303

Continuación de la tabla IX.

C20:1	Gadoleico	23 000
C22:0	Behenico	26 490
C22:1	Erucico	20 138

Fuente: perfil de ácidos grasos según Método Oficial Ce – 1 – 62.

3.7.22. Cromatografía de gases aplicado a espectrometría de masas

Con esta técnica se puede lograr la identificación de mezclas complejas en una sola operación, como el material volátil y ácidos grasos presentes en una muestra de aceite crudo.

3.7.23. Índice de refracción a 22,5 °C

El índice de refracción de una sustancia es la razón de la velocidad de un rayo de luz en el vacío a la velocidad de la luz a través de la sustancia. Por conveniencia práctica se refiere a la relación aire sustancia.

3.7.24. Prueba de inflamabilidad

Se realizó con el método de la llama que consistió en colocar la muestra en un crisol y luego se le adicionó calor con un fósforo para determinar si hay una reacción de combustión.

3.8. Análisis estadístico

Para la caracterización del aceite de aguacate se utilizaron como variables los dos tratamientos de la pulpa de aguacate. Para los cuales se realizaron 5 repeticiones dando un total de 10 extracciones. Posteriormente a las 10 muestras se les realizaron diferentes pruebas para determinar sus índices de calidad, propiedades físicas y químicas.

El análisis estadístico de los datos obtenidos del aceite se utilizaron para evaluar el rendimiento y la calidad del mismo, por medio de un análisis de varianza de dos factores utilizando un diseño de bloques aleatorio.

Los datos se compusieron de la siguiente forma:

Tabla X. **Datos típicos para el diseño de bloques para una prueba de t de student de dos muestras poblacionales**

Lote	Tratamiento de la pulpa	
	Ácido fosfórico	Sulfito de sodio
1	A1,1	B1,2
2	A2,1	B2,2
3	A3,1	B3,2
4	A4,1	B4,2
5	A5,1	B5,2

Fuente: WALPOLE, Ronald E. Probabilidad y estadística. 570 p.

Los efectos de tratamientos se definen como desviaciones respecto a la media general. Como el interés es probar la igualdad de los efectos del tratamiento, siendo:

$$H_0: \tau_1 = \tau_2 = \dots = \tau_a = 0$$

$$H_1: \tau_i \neq 0 \text{ al menos una } i$$

Se probó la hipótesis nula, donde la pendiente β es igual a algún valor especificado β_0 (a menudo toma el valor 0, en cuyo caso la hipótesis es que x y y no están relacionados).

Luego

$$t_{\text{valor}} = \frac{\beta - \beta_0}{SE_{\beta}}$$

(Ecuación 17)

Donde:

α, β = estimadores de cuadrados mínimos,

SE_{α}, SE_{β} = error estándar de los estimadores de cuadrados mínimos.

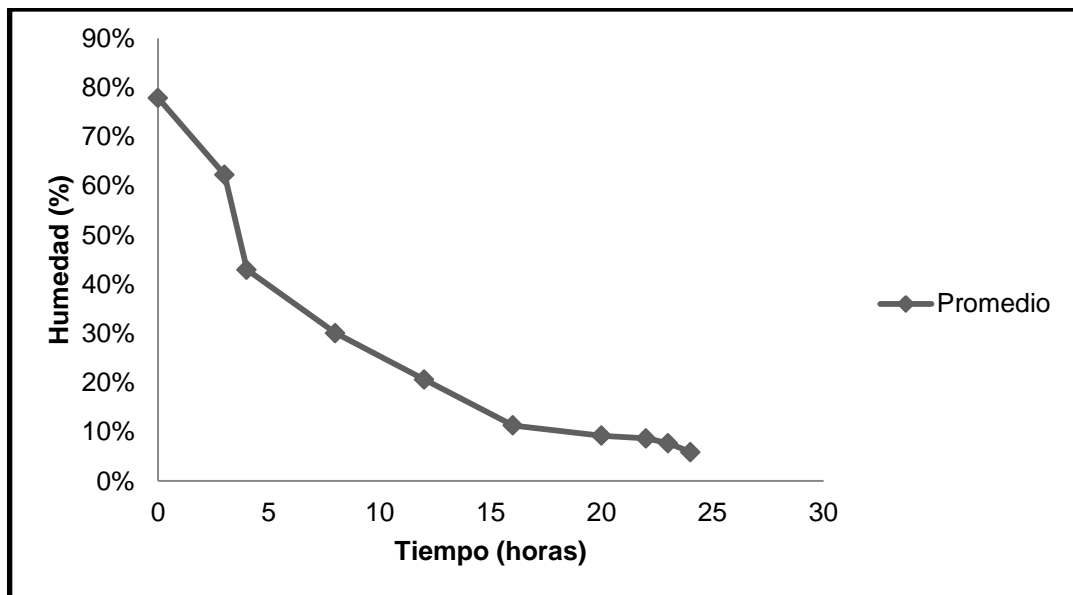
Dentro de la cuál se utilizó una distribución t con $n - 2$ grados de libertad si la hipótesis nula es verdadera. Para el cual se calculó el error estándar de la pendiente con la siguiente ecuación.

$$SE_{\beta} = \frac{\frac{1}{n-2} \sum_{i=1}^n Y_i - y_i^2}{\sum_{i=1}^n x_i - \bar{x}^2}$$

(Ecuación 18)

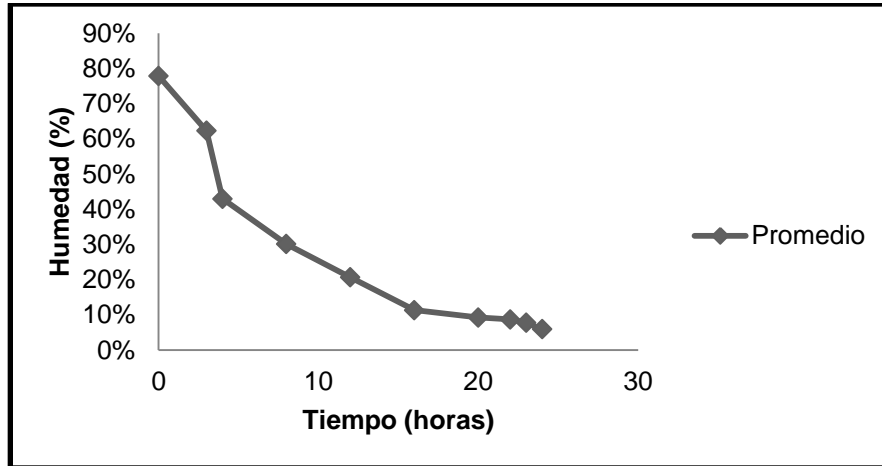
4. RESULTADOS

Figura 5. **Curva de secado para las muestras de aguacate (*Persea americana Hass*) con tratamiento de ácido fosfórico**



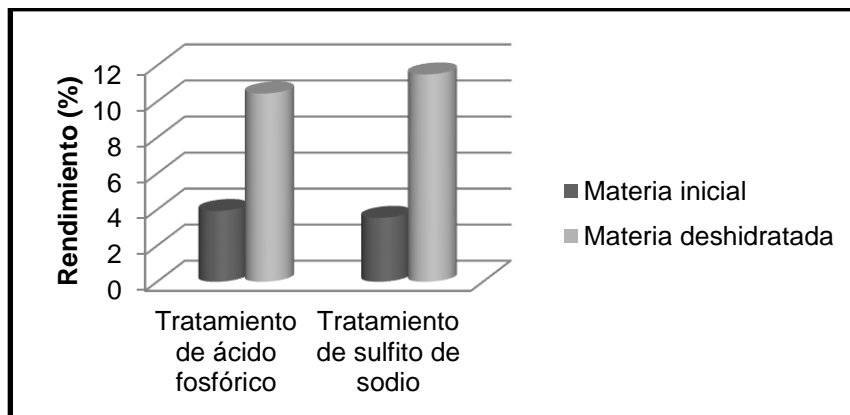
Fuente: elaboración propia, basado en apéndice 4.

Figura 6. **Curva de secado para las muestras de aguacate (*Persea americana Hass*) con tratamiento de sulfito de sodio**



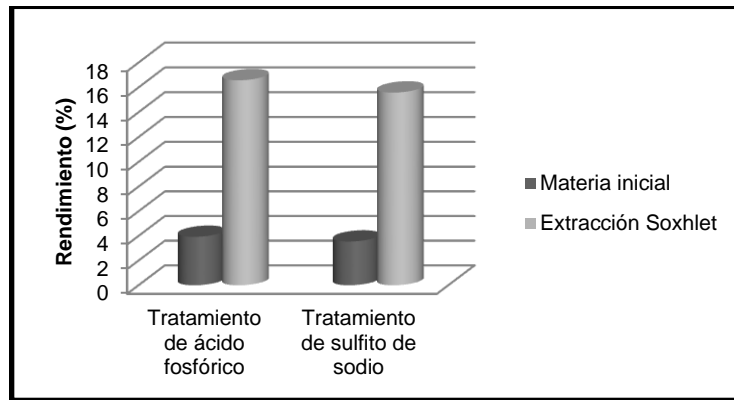
Fuente: elaboración propia, basado en apéndice 4.

Figura 7. **Comparación del rendimiento obtenido del aceite fijo de pulpa aguacate (*Persea americana Hass*) con la materia inicial en función de la materia seca, para ambos tratamientos**



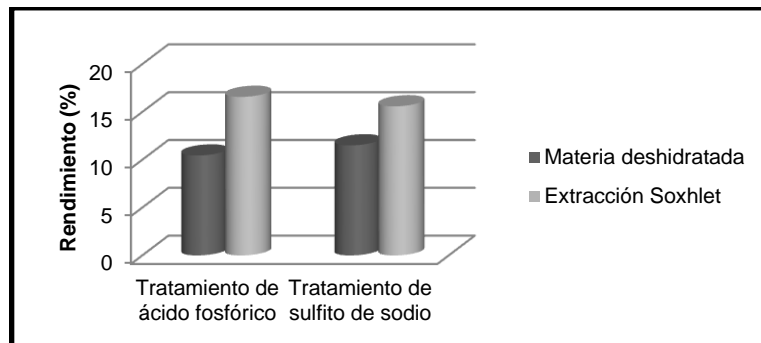
Fuente: elaboración propia.

Figura 8. **Comparación del rendimiento obtenido del aceite fijo de pulpa de aguacate (*Persea americana Hass*) con la materia inicial en función a la extracción Soxhlet, para ambos tratamientos**



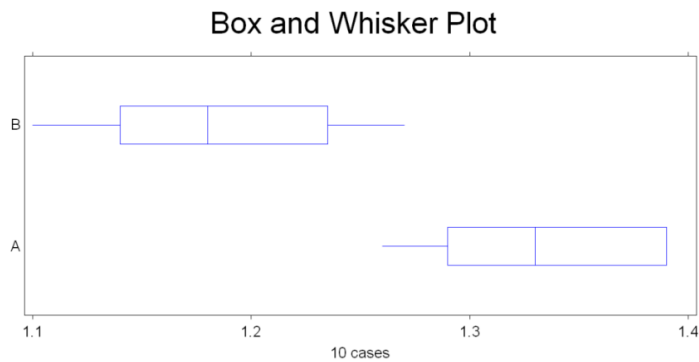
Fuente: elaboración propia.

Figura 9. **Comparación del rendimiento obtenido del aceite fijo de pulpa de aguacate (*Persea americana Hass*) con la materia seca en función a la extracción Soxhlet, para ambos tratamientos**



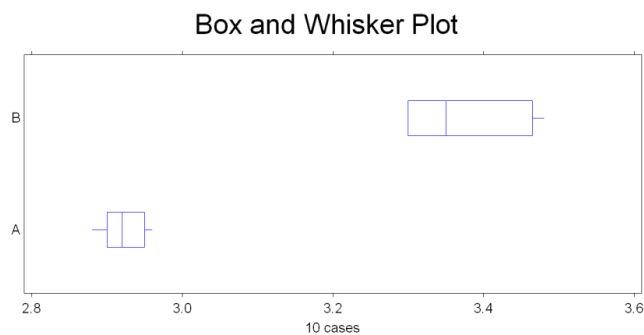
Fuente: elaboración propia.

Figura 10. **Diagrama de caja y alambre para la comparación de dos muestras emparejadas utilizando t de student para el análisis de acidez del aceite fijo de pulpa de aguacate (*Persea americana Hass*)**



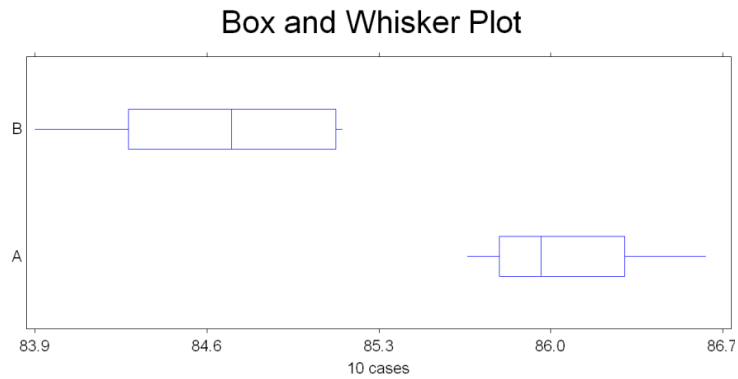
Fuente: elaboración propia, basado en apéndice 6.

Figura 11. **Diagrama de caja y alambre para la comparación de dos muestras emparejadas utilizando t de student para el índice de peróxido del aceite fijo de pulpa de aguacate (*Persea americana Hass*)**



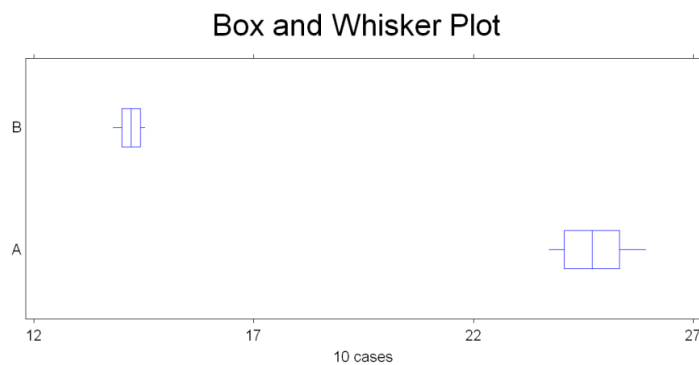
Fuente: elaboración propia, basado en apéndice 6.

Figura 12. **Diagrama de caja y alambre para la comparación de dos muestras emparejadas utilizando t de student para el índice de yodo en el aceite fijo de pulpa de aguacate (*Persea americana Hass*)**



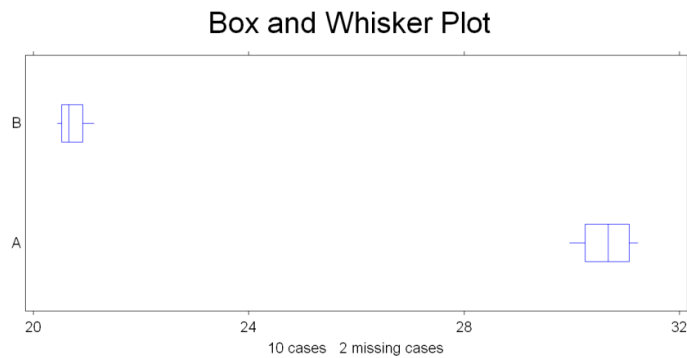
Fuente: elaboración propia, basado en apéndice 6.

Figura 13. **Diagrama de caja y alambre para la comparación de dos muestras emparejadas utilizando t de student para los valores de p – anisidina del aceite fijo de pulpa de aguacate (*Persea americana Hass*)**



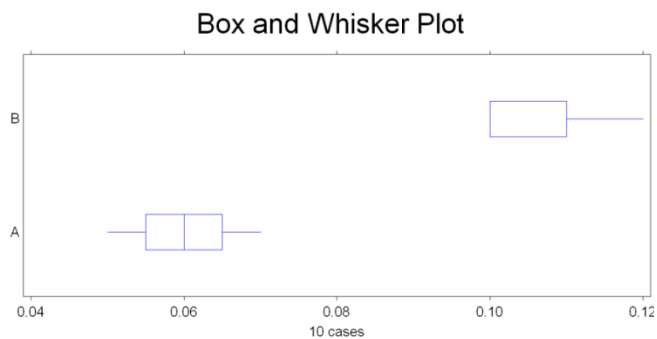
Fuente: elaboración propia, basado en apéndice 6.

Figura 14. **Diagrama de caja y alambre para la comparación de dos muestras emparejadas utilizando t de student para los valores de totox del aceite fijo de pulpa de aguacate (*Persea americana Hass*)**



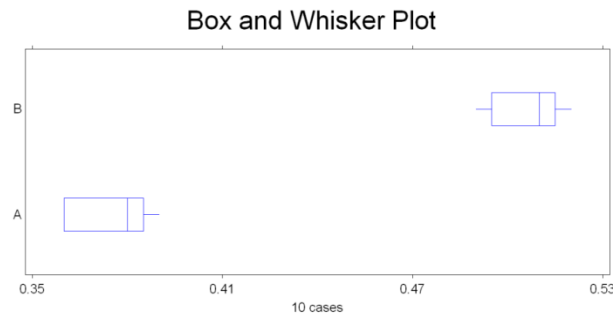
Fuente: elaboración propia, basado en apéndice 6.

Figura 15. **Diagrama de caja y alambre para la comparación de dos muestras emparejadas utilizando t de student para los valores de DOBI del aceite fijo de pulpa de aguacate (*Persea americana Hass*)**



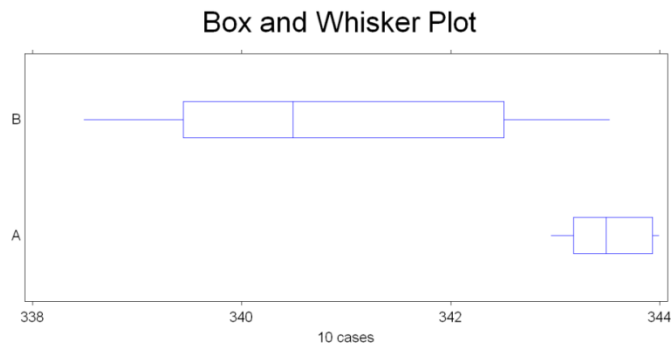
Fuente: elaboración propia, basado en apéndice 6.

Figura 16. **Diagrama de caja y alambre para la comparación de dos muestras emparejadas utilizando t de student para los valores de humedad del aceite fijo de pulpa de aguacate (*Persea americana Hass*)**



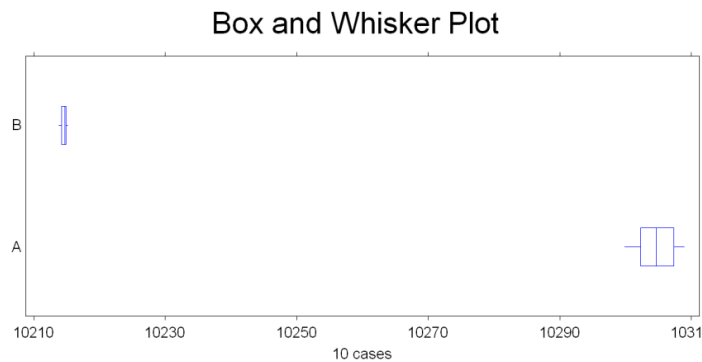
Fuente: elaboración propia, basado en apéndice 6.

Figura 17. **Diagrama de caja y alambre para la comparación de dos muestras emparejadas utilizando t de student para los valores de fósforo del aceite fijo de pulpa de aguacate (*Persea americana Hass*)**



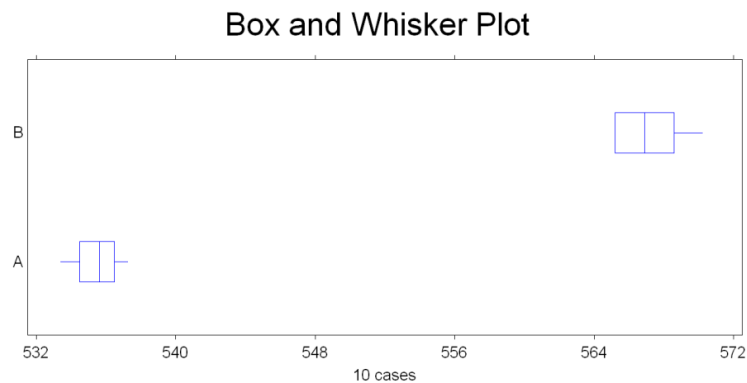
Fuente: elaboración propia, basado en apéndice 6.

Figura 18. **Diagrama de caja y alambre para la comparación de dos muestras emparejadas utilizando t de student para los valores de fosfátidos del aceite fijo de pulpa de aguacate (*Persea americana Hass*)**



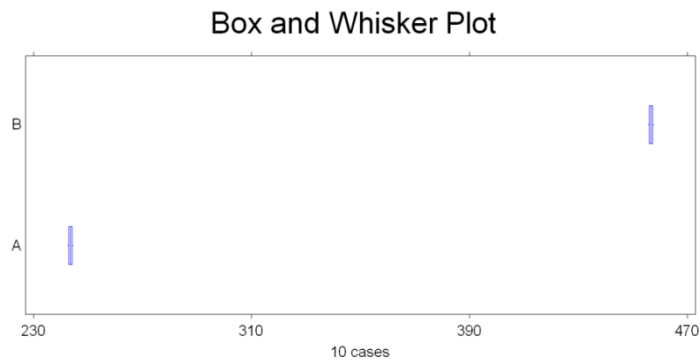
Fuente: elaboración propia, basado en el apéndice 6.

Figura 19. **Diagrama de caja y alambre para la comparación de dos muestras emparejadas utilizando t de student para los valores de ceras del aceite fijo de pulpa de aguacate (*Persea americana Hass*)**



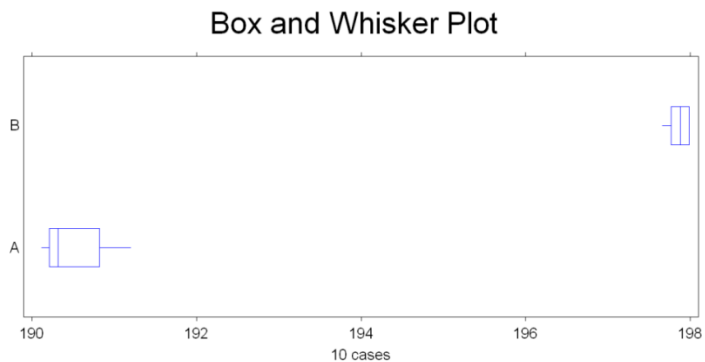
Fuente: elaboración propia, basado en apéndice 6.

Figura 20. **Diagrama de caja y alambre para la comparación de dos muestras emparejadas utilizando t de student para los valores de jabón del aceite fijo de pulpa de aguacate (*Persea americana Hass*)**



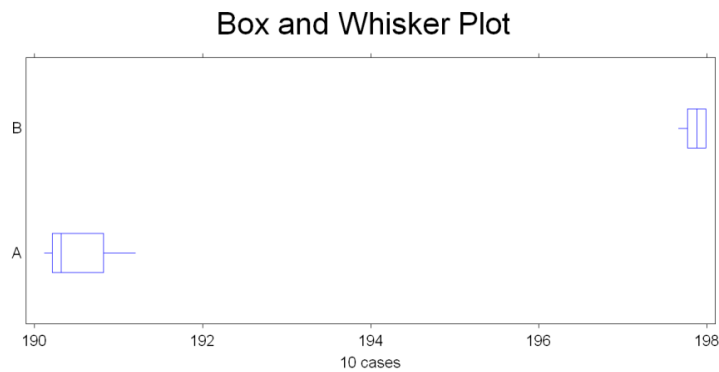
Fuente: elaboración propia, basado en apéndice 6.

Figura 21. **Diagrama de caja y alambre para la comparación de dos muestras emparejadas utilizando t de student para los valores del índice de saponificación del aceite fijo de pulpa de aguacate (*Persea americana Hass*)**



Fuente: elaboración propia, basado en apéndice 6.

Figura 22. **Diagrama de caja y alambre para la comparación de dos muestras emparejadas utilizando t de student para los valores de la cantidad de gomas presente en el aceite fijo de pulpa de aguacate (*Persea americana Hass*)**



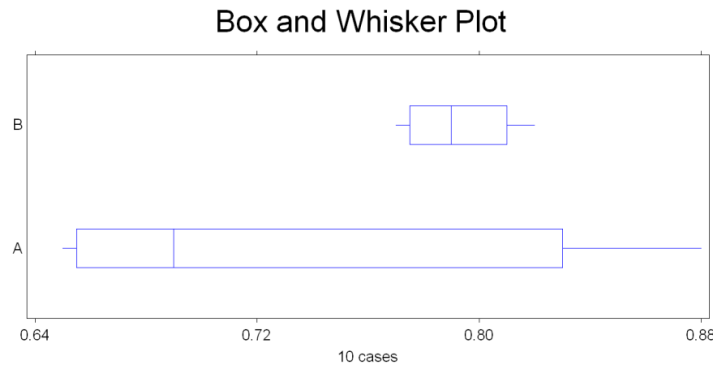
Fuente: elaboración propia, basado en apéndice 6.

Figura 23. **Diagrama de caja y alambre para la comparación de dos muestras emparejadas utilizando t de student para los valores de la densidad del aceite fijo de pulpa de aguacate (*Persea americana Hass*)**



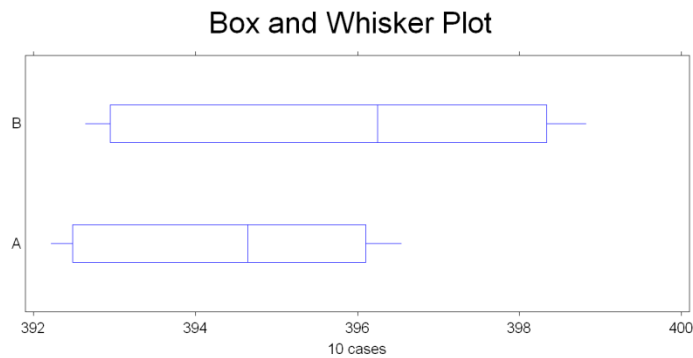
Fuente: elaboración propia, basado en apéndice 6.

Figura 24. **Diagrama de caja y alambre para la comparación de dos muestras emparejadas utilizando t de student para los valores de la viscosidad del aceite fijo de pulpa de aguacate (*Persea americana Hass*)**



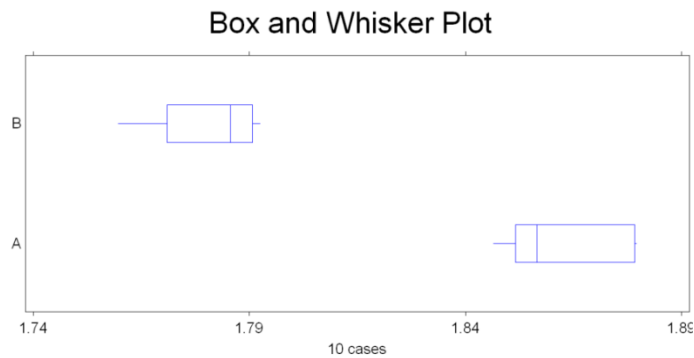
Fuente: elaboración propia, basado en apéndice 6.

Figura 25. **Diagrama de caja y alambre para la comparación de dos muestras emparejadas utilizando t de student para los valores del punto de ebullición del aceite fijo de pulpa de aguacate (*Persea americana Hass*)**



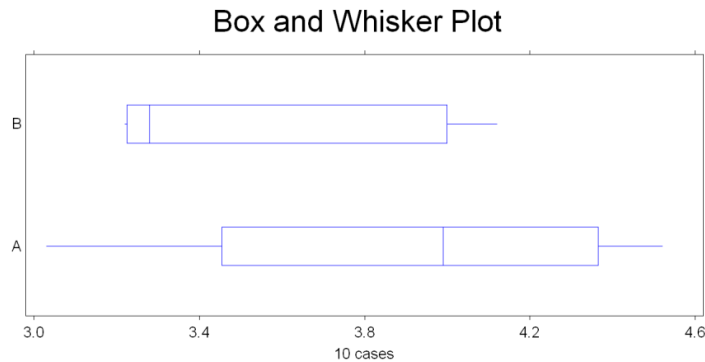
Fuente: elaboración propia, basado en apéndice 6.

Figura 26. **Diagrama de caja y alambre para la comparación de dos muestras emparejadas utilizando t de student para los valores del índice de refracción del aceite fijo de pulpa de aguacate (*Persea americana Hass*)**



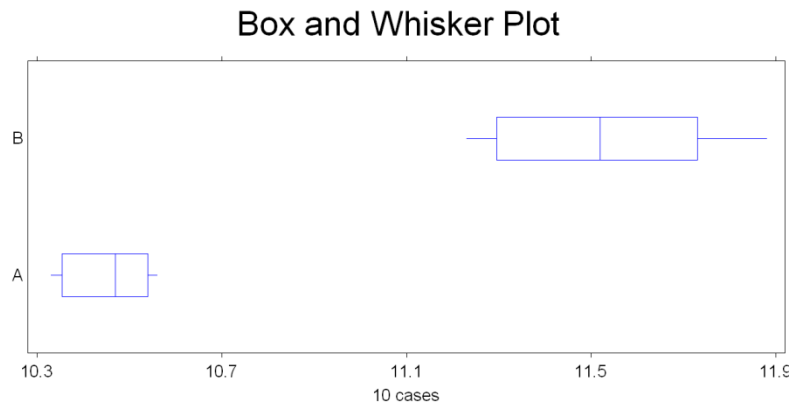
Fuente: elaboración propia, basado en apéndice 6.

Figura 27. **Diagrama de caja y alambre para la comparación de dos muestras emparejadas utilizando t de student para los valores del rendimiento obtenido del aceite fijo de pulpa de aguacate (*Persea americana Hass*) en función a la muestra sin deshidratar**



Fuente: elaboración propia, basado en apéndice 6.

Figura 28. **Diagrama de caja y alambre para la comparación de dos muestras emparejadas utilizando t de student para los valores del rendimiento obtenido del aceite fijo de pulpa de aguacate (*Persea americana Hass*) en función a la muestra deshidratada**



Fuente: elaboración propia, basado en apéndice 6.

Tabla XI. **Porcentaje de humedad de la materia seca de pulpa de aguacate en función del tiempo con tratamiento de ácido fosfórico**

Tiempo (horas)	Humedad (%)	Varianza (\pm)
0	77,87	0,01605497
3	62,25	0,01226144
4	42,94	0,01512276
8	30,06	0,02991312

Continuación de la tabla XI.

12	20,62	0,01817072
16	11,29	0,00881436
20	9,22	0,00451752
22	8,66	0,00211967
23	7,69	0,00509823
24	5,87	0,0049364

Fuente: elaboración propia, basado en los apéndices 4 y 6.

Tabla XII. **Porcentaje de humedad de la materia seca de pulpa de aguacate en función del tiempo con tratamiento de sulfito de sodio**

Tiempo (horas)	Promedio (%)	Desviación (±)
0	77,87	0,01605497
3	61,46	0,01825944
4	46,52	0,04872077
8	34,45	0,00949826
12	21,60	0,00738072
16	11,38	0,00832208
20	9,22	0,00451752

Continuación de la tabla XII.

22	8,66%	0,00211967
23	7,70%	0,0051674
24	5,52%	0,00280303

Fuente: elaboración propia, basado en los apéndices 4 y 6.

Tabla XIII. **Rendimiento del aceite fijo de pulpa de aguacate (*Persea americana Hass*) en función de la materia inicial sin deshidratar con la cantidad de muestra obtenida**

Tratamiento de la pulpa de aguacate	Rendimiento (%)	Varianza (\pm)
Ácido fosfórico	3,9268	0,3088412
Sulfito de sodio	3,546	0,17948

Fuente: elaboración propia, basado en los apéndices 4 y 6.

Tabla XIV. **Rendimiento del aceite fijo de pulpa de aguacate (*Persea americana Hass*) en función de la materia deshidratada con la cantidad de muestra obtenida**

Tratamiento de la pulpa de aguacate	Rendimiento (%)	Varianza (\pm)
Ácido fosfórico	10,452	0,00917
Sulfito de sodio	11,514	0,06068

Fuente: elaboración propia, basado en los apéndice 4 y 6.

Tabla XV. **Rendimiento del aceite fijo de pulpa de aguacate (*Persea americana Hass*) en función de la materia inicial deshidratada por extracción soxhlet**

Tratamiento de la pulpa de aguacate	Rendimiento (%)
Ácido fosfórico	16,58
Sulfito de sodio	15,59

Fuente: elaboración propia, basado en los apéndices 4 y 6.

Tabla XVI. **Propiedades químicas del aceite fijo a partir de la pulpa de aguacate (*Persea americana Hass*) con tratamiento de ácido fosfórico**

Análisis	Valor	Varianza (\pm)
Acidez (mg KOH / g muestra)	1,338	0,00297
Peróxido (meq / kg)	2,924	0,00088
Índice de yodo (cg / g muestra)	85,948	0,04097
Valores de p – anisidina	24,696	0,63188
Totox (meq / kg)	30,666	0,22088
DOBI	0,0598	0,0000502
Humedad (%)	0,374	0,00018
Fosforo (ppm)	343,56	0,1627
Fosfátidos (ppm)	1 0304,84	10,5366
Ceras (ppm)	535,58	2,3332

Continuación de la tabla XVI.

Jabón (ppm)	243,52	0,53495
Índice de saponificación (mg KOH / g muestra)	190,478	0,17672
Gomas (%)	0,504	0,00068

Fuente: elaboración propia, basado en el apéndice 4 y 6.

Tabla XVII. **Propiedades químicas del aceite fijo a partir de la pulpa de aguacate (*Persea americana Hass*) con tratamiento de bisulfito de sodio**

Análisis	Valor	Varianza (\pm)
Acidez (mg KOH / g muestra)	1,166	0,00148
Peróxido (meq / kg)	3,376	0,00713
Índice de yodo (cg / g muestra)	84,702	0,25102
Valores de p – anisidina	14,21	0,0691
Totox (meq / kg)	20,708	0,06257
DOBI	0,104	8E-05
Humedad (%)	0,506	0,00013
Fósforo (ppm)	340,898	3,34217
Fosfátidos (ppm)	1 0214,704	0,43328
Ceras (ppm)	566,904	4,18528
Jabón (ppm)	456,596	0,43528

Continuación de la tabla XVII.

Índice de saponificación (mg KOH / g muestra)	197,878	0,01762
Gomas (%)	0,664	0,00013

Fuente: elaboración propia, basado en los apéndices 4 y 6.

Tabla XVIII. **Propiedades físicas del aceite fijo a partir de la pulpa de aguacate (*Persea americana* Hass) con tratamiento de ácido fosfórico**

Análisis	Valor	Varianza (±)
Densidad (g / mL)	0,9168	5,7E-06
Viscosidad (dPa / s a 21 °C)	0,732	0,00947
Punto de ebullición (°C)	394,366	3,42598
Índice de refracción	1,86364	0,00022012

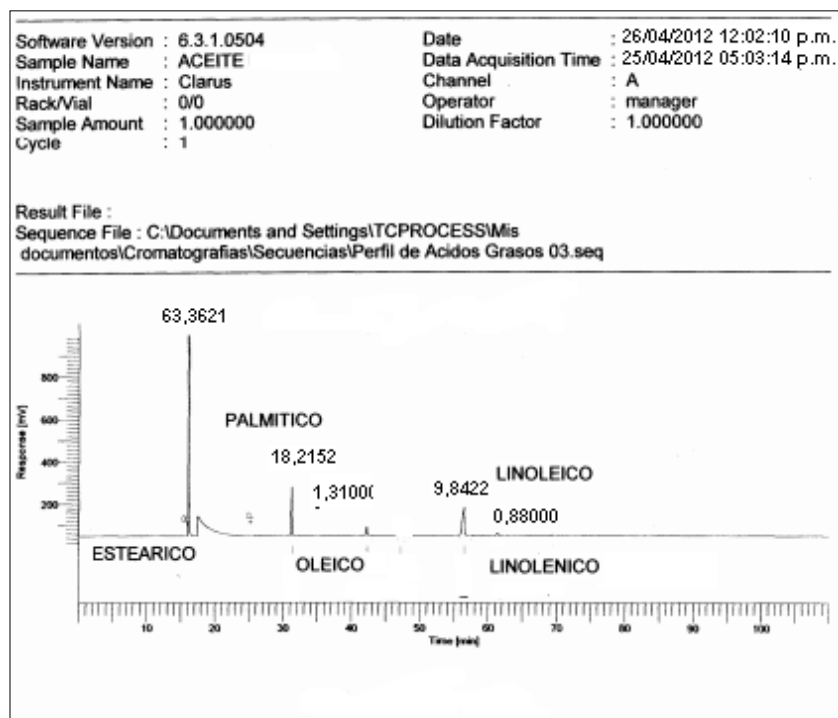
Fuente: elaboración propia, basado en los apéndices 4 y 6.

Tabla XIX. **Propiedades físicas del aceite fijo a partir de la pulpa de aguacate (*Persea americana Hass*) con tratamiento de sulfito de sodio**

Análisis	Valor	Varianza (±)
Densidad (g / mL)	0,9164	6,3E-06
Viscosidad (dPa / s a 21 °C)	0,792	0,00037
Punto de ebullición (°C)	395,764	7,48598
Índice de refracción	1,78156	0,00016471

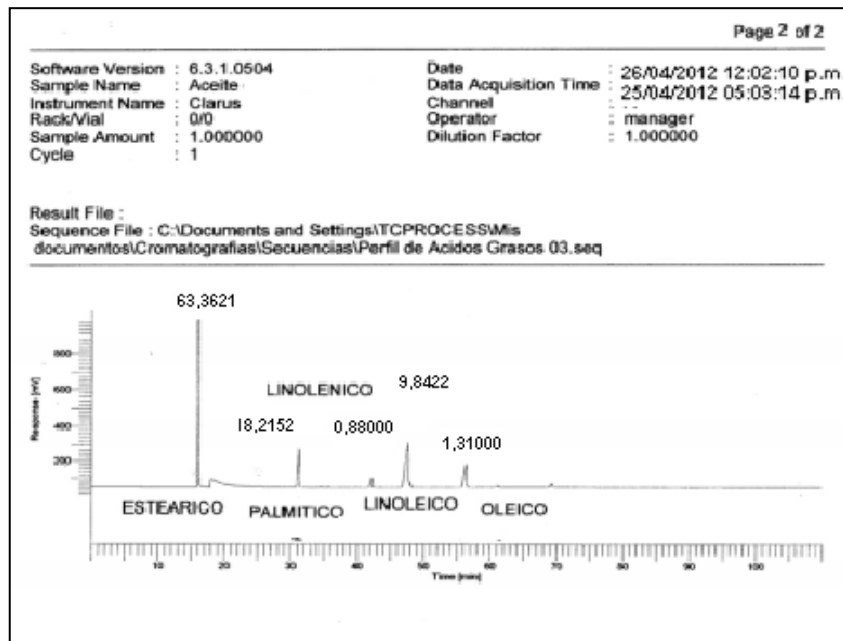
Fuente: elaboración propia, basado en los apéndices 4 y 6.

Figura 29. Imagen del análisis cromatográfico de la muestra de aceite fijo de aguacate (*Persea americana Hass*) con tratamiento de ácido fosfórico previo a la extracción



Fuente: elaboración propia, basado en los apéndices 4 y 6.

Figura 30. Imagen del análisis cromatográfico de la muestra de aceite fijo de aguacate (*Persea americana Hass*) con tratamiento de sulfito de sodio previo a la extracción



Fuente: elaboración propia, basado en los apéndices 4 y 6.

Tabla XX. **Perfil cromatográfico de las muestras de aceite fijo de pulpa de aguacate (*Persea americana Hass*)**

Ácido graso	Porcentaje muestra con tratamiento de ácido fosfórico (%)	Porcentaje muestra con tratamiento de sulfito de sodio (%)
Palmítico C16:0	18,21	18,22
Palmitoleico C16:1	6,40	6,40
Estearico C18:0	63,36	63,36
Oleico C18:1	1,31	1,32
Linoleico C18:2	9,84	9,82
Linolenico C18:3	0,88	0,88

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXI. **Análisis proximal de la muestra seca**

Prueba	Tratamiento con ácido fosfórico (%)	Tratamiento con bisulfito de sodio (%)
Agua	8,47	7,82
Materia seca	91,53	92,18
Extracto etéreo	32,71	41,68
Fibra cruda	37,95	33,56
Proteína cruda	7,04	6,32
Cenizas	19,46	18,20
Extracto libre de nitrógeno	2,84	0,24

Fuente: elaboración propia, basado en los apéndices 4 y 6.

Tabla XXII. **Análisis proximal de la muestra seca después del prensado**

Prueba	Tratamiento con ácido fosfórico (%)	Tratamiento con bisulfito de sodio (%)
Agua	2,56	6,03
Materia seca	97,44	93,97
Extracto etéreo	6,13	12,21
Fibra cruda	20,61	16,47
Proteína cruda	42,27	42,35
Cenizas	5,29	5,18
Extracto libre de nitrógeno	25,70	42,35

Fuente: elaboración propia, basado en los apéndices 4 y 6.

5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Dentro de las producciones para exportar e importar, el aguacate cultivado y cosechado en Guatemala, tiene un alto potencial para que este sea comercializado. El aceite de pulpa de aguacate ha sido comercializado al mercado europeo ya que se dice que tiene propiedades que son atractivas a diferentes industrias.

Para la extracción de aceite pulpa de aguacate (*Persea americana Hass*) utilizando prensa hidráulica, se secaron 10 lotes de aguacate maduro según la clasificación en la tabla II. Esta investigación consiste en comparar el tratamiento de una pasta elaborada con pulpa de aguacate y ácido fosfórico o sulfito de sodio, la razón por la que se adicionan estos aditivos es para disminuir la actividad enzimática de la polifenol oxidasa y la peroxidasa. Dentro del análisis preliminar que se realizó para este estudio, el hecho de que la pulpa de aguacate tiene dos enzimas que contribuyen al pardeamiento en la superficie.

En las pruebas preliminares se trabajaron diferentes metodologías para determinar cual era más conveniente (ver apéndice 1). Dentro de las referencias en artículos científicos se menciona que la combinación de la maltodextrina con cloruro de sodio puede conservar las propiedades de una pasta para conservarla en un lugar con refrigeración. Sin embargo, al momento de secar la materia se observó el fenómeno de encapado, esto se debe a las propiedades que tiene la maltodextrina, ya que se cristaliza al aumentar la temperatura por ser un almidón modificado, según se puede observar en el apéndice 7.

Por esta razón se le dió tratamiento a la pulpa con sulfito de sodio y ácido fosfórico, ya que estas ayudan de forma significativa a disminuir el pardeamiento enzimático, sin dañar las propiedades organolépticas. También se realizaron pruebas con rodajas de 1 a 2 milímetros de espesor, luego se sumerge en una solución de ácido fosfórico o de sulfito de sodio para disminuir la actividad enzimática. En este caso el secado se llevo en un período de tiempo de 16 horas con una temperatura de 60 grados Centígrados, para no dañar el perfil de ácidos grasos del aceite.

Esta investigación tenía como fin principal proporcionar material para identificar aplicaciones para el aguacate maduro. También que en el caso de utilizar rodajas debido a que la pulpa se conserva en su estado inicial, esta tiene la grasa encapsulada y muchos de los antioxidantes que se comercializan hoy en día se activan con la grasa por lo que la única forma de activar estos inhibidores es por esta vía.

Razón por la cual se realizó una mezcla de pulpa con agua, se licúo y luego se adicionó el sulfito de sodio y ácido fosfórico. En este método se incrementó el tiempo de secado ya que por la combinación hay mayor cantidad de agua que remover, según lo que se detectó en las pruebas preliminares es que el material más conveniente para las bandejas es el aluminio y el teflón. Por costos se trabajó con el aluminio, se forraron bandejas de acero inoxidable con aluminio para que el secado fuera más conveniente. El tiempo de secado en este caso fue de 24 horas a una temperatura de 50 grados Centígrados, para evitar daños en las propiedades del aceite.

Como se puede observar en la figura 5 y 6 se forman isoterms que indican la disminución de la actividad enzimática en este caso de la polifenol oxidasa, sin embargo, por el tiempo de secado la materia y el uso de las bandejas de aluminio si presentó un pardeamiento.

Por otra parte vale la pena mencionar que a la materia sin deshidratar, tiene un 78 por ciento de agua (ver apéndice 1) dentro de su composición, razón por la cual tiene un tiempo mayor de secado y es más difícil desactivar las enzimas que esta posee. También se cálculo el rendimiento de la extracción tomando en cuenta la cantidad de materia inicial sin deshidratar con la cantidad de aceite recuperada, como se observa en la tabla XII el rendimiento está en un rango de 3,2 a 4,1 por ciento, esto se debe a la cantidad de agua que hay dentro de la pulpa de aguacate.

En la tabla XIII se determinó que si se compara con la materia deshidratada esta posee 10 a un 11 por ciento.

La razón por la que hay una diferencia significativa entre los datos de la tabla XIII y la XIV es por que en el momento de hacer la extracción con tornillo de prensa hay una pérdida de aceite en la superficie de la prensa y también es posible que no se agotara al máximo, ya que la presión a la que se trabajó fue de 7 a 9 Tm.

El proceso de extracción se realizó en un tornillo prensa, realizando la extracción en dos pasos, el análisis proximal muestra que aún hay contenido graso en la torta resultante, con un residuo de 6,15 por ciento de extracto etéreo en la torta obtenida de la pulpa de aguacate deshidratada con tratamiento de ácido fosfórico y de 5,7 por ciento para la torta obtenida de las materia con sulfito de sodio.

En cuanto a las mediciones de solubilidad el aceite no fue soluble en agua, parcialmente soluble en etanol tomando la prueba como negativa, mientras que en benceno y cloroformo fue soluble completamente mostrando una solución homogénea, por poseer ácidos carboxílicos afines a las moléculas de benceno y cloroformo.

La prueba en frío es la resistencia de la muestra a la cristalización es comúnmente utilizado como índice de winterización y procesos de eliminación de estearina, es la prueba que es aceptada si la muestra después de 5 horas no presenta turbidez está clara y brillante, esta prueba fue negativa para el aceite de pulpa de aguacate en el que presentó turbidez a los 8 minutos y por lo tanto su cristalización a las 7 horas, lo cual comprueba la presencia de gomas y otras sustancias que pueden fácilmente solidificarse a bajas temperaturas, se encontró un porcentaje de gomas de 50 y 60 por ciento, determinado como la presencia de sustancias pegajosas que no interfieren en forma directa con la acidez del 82 aceite, la presencia de gomas produce pérdidas en el refinado y disminuye la vida de almacenado de un producto.

Se puede observar en las gráficas en la sección de resultados que hay una diferencia significativa en cuanto a las propiedades químicas, cuando a estas se les da un tratamiento enzimático diferente. Esto si incide en cuanto a la composición química y la presencia de compuestos dentro del aceite.

El punto de fusión, se realizó solidificando una muestra de aceite que tomó la forma de un disco, el cual después se le determinó la temperatura de fusión en una solución alcohol-agua, el cual fue de 15 grados Centígrados. La viscosidad determinada para el aceite fue a 26,2 grados Centígrados, que muestra un resultado de 0,7320 y 0,7920 dP.s.

Según la norma para los aceites de oliva y orujo de oliva, los índices de yodo obtenidos por el método de Wijs aceptados son de 75-94 para el aceite de oliva refinado y de 75-92 para los aceites de orujo, se obtuvo un índice de yodo de 85,95 para el aceite con tratamiento de ácido fosfórico y 84,70 con sulfito de sodio, ambos datos están dentro de los parámetros establecidos por el CODEX ALIMENTARIUS. Según la clasificación establecida en este código se determina que este aceite se encuentra como secante. Como se puede observar en la figura 9 y apéndice 6, si hay una diferencia significativa entre la cantidad de yodo presente en las muestras, sin embargo, siempre se encuentra dentro de los límites permisibles para el aceite de oliva.

La norma para los aceites de oliva establece que los índices de saponificación aceptados son de 184-196 miligramos de hidróxido de potasio sobre un kilogramo de aceite. Para el aceite de oliva refinado y de 182-193 para el aceite de orujo de oliva, se obtuvo un índice de saponificación de 190,48 para el aceite fijo de pulpa de aguacate con tratamiento de ácido fosfórico y 197,88 con sulfito de sodio, los índices obtenidos no se encuentran dentro de estos rangos pero están bastante cercanos.

En la figura 17 se puede determinar que si hay una variación entre los datos obtenidos, sin embargo, estos sí están dentro de los límites permisibles.

El índice de acidez comprueba la presencia de ácidos grasos libres que existen en la muestra como lo indica el perfil de ácidos grasos que fueron identificados por cromatografía de gases, como se observa en la tabla XXI.

El índice de peróxidos indica la presencia de peróxidos en miliequivalentes por 1 000 gramos de muestra, según la cantidad o presencia de peróxidos puede determinarse el estado de un aceite ya que este puede oxidarse. Para el aceite de pulpa de aguacate con tratamiento de ácido fosfórico fue de 2,92 y 3,38 con sulfito de sodio, estos valores varían según el almacenamiento del aceite y el tiempo de haberse extraído, se encuentra en el rango permisible según la Norma del CODEX ALIMENTARIUS. Según la tabla en el anexo 1 indica que no debe sobrepasar de 15 mili equivalentes cuando la extracción es por prensado en frío por lo que este se encuentra dentro del rango permisible.

Según el perfil, los dos ácidos grasos mayoritarios son el esteárico con (C18:0) 63,63%, palmítico (C16:0) 18,22%, luego esta el linoleico (C18:2) con 9,84% y el palmítoleico con 6,40 %, luego con linoleico (C18:3) con 0,86% y oleico (C18:1) por el Método Oficial AOCS ni por el análisis de cromatografía de gases aplicado a espectrometría de masas.

El aceite de pulpa de aguacate (*persea americana Hass*), además de contener ácidos grasos, contiene una serie de compuestos característicos al olor y sabor.

CONCLUSIONES

1. Se determinó que el rendimiento máximo para la extracción de aceite fijo de aguacate (*Persea americana Hass*) es del 17% para el ácido fosfórico y 16% con sulfito de sodio.
2. Las propiedades químicas como: índice de yodo, acidez, peróxido, de saponificación, valor p – anisidina, totox, DOBI, humedad, fósforo, fosfátidos, ceras, jabón y gomas para las muestras de aceite de pulpa de aguacate (*Persea americana Hass*) están dentro de los rangos aceptables según el Codex Alimentus.
3. Las propiedades físicas del aceite fijo de pulpa de aguacate (*Persea americana Hass*) como la densidad y punto de ebullición para ambos lotes muestra una similitud con las propiedades del aceite crudo de maíz según tablas del Codex Alimentus.
4. Se encontraron cinco ácidos grasos del aceite fijo de pulpa de aguacate (*Persea americana Hass*) que estaban distribuidos de la siguiente manera un 81,57% ácidos grasos saturados, 7,71% de insaturados y 10,72% de poliinsaturados.
5. Los índices de calidad del aceite fijo de pulpa de aguacate (*Persea americana Hass*) con ácido fosfórico son mayores a los valores del sulfito de sodio.

6. A través del análisis estadístico se determinó que no hay diferencia significativa entre las propiedades físicas del aceite fijo de pulpa de aguacate (*Persea americana Hass*) entre ambos lotes.
7. La materia seca después del prensado en frío tiene un 63% de fibra y de proteína cruda.

RECOMENDACIONES

1. Realizar un análisis toxicológico del aceite de pulpa de aguacate, así como, las pruebas de digestibilidad de la torta resultante, para aprovechar el alto contenido en carbohidratos y proteínas.
2. Realizar un estudio de factibilidad y rentabilidad del proceso de producción del aceite de pulpa de aguacate.
3. Elaborar jabones orgánicos a base de cenizas para su saponificación.
4. Estudiar la rentabilidad de realizar un tercer paso de prensado o la extracción del remanente de extracto etéreo con un solvente y estudiar cual de los dos métodos es más conveniente.
5. Utilizar otros inhibidores de enzima tales como BHT y BTA.
6. Diseñar un método más eficiente para el secado de la pasta de aguacate.
7. Realizar un estudio con la semilla del aguacate para fabricar algún antioxidante que logre inhibir las enzimas que actúan en este proceso.
8. Utilizar bandejas de plástico para secar las muestras de pulpa de aguacate.

BIBLIOGRAFÍA

1. ALEMAN, Rafael, et al. *Características fisicoquímicas del aceite del mesocarpio de la coroba (Jessenia polycarpa Karst)*. Universidad de Oriente. Núcleo-Anzoategui. Vía Alternativa Puerto La Cruz-Barcelona. Puerto La Cruz, Estado Anzoategui. Departamento de Ingeniería Química. Universidad Nacional Experimental Simón Rodríguez. Canoabo, Laboratorio de Biomoléculas, Estado Carabobo-Venezuela. Laboratorio de Ciencia y Tecnología de Alimentos. Universidad Simón Rodríguez, Núcleo Canoabo, estado. Carabobo, Venezuela. 2002. 175 p.
2. CUAMBA, Rodrigo. *Caracterización de grasas alternativas de la manteca de cacao*. Tesis de Maestría en Ciencias con especialidad en alimentos. México: Instituto Politécnico Nacional. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, Departamento de Graduados e investigación de alimentos. 2008, 75 p.
3. FERSINI, Antonio. *El Cultivo del Aguacate*. México: Editorial Diana, 1978. 100 p.
4. GARCÍA, J.A.; DÍAZ, I. *Nuevas tendencias en el análisis de ácidos grasos*. IRTA; México.: Centro de Tecnología de la Carne, Unidad de Química Alimentaria, 2006. 200 p.

5. GARCÍA, Juan; RAMOS, Mario. Estructura de la semilla de aguacate y cuantificación de la grasa extraída por diferentes técnicas. Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco. También se llevó a cabo en el Centro de Investigación Biomédica de Occidente – IMSS. Apdo. Postal 1 – 3838. Guadalajara, Jalisco, México. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 5: 123 – 128. 1999.

6. HERNÁNDEZ, Martha Marcela. *El efecto sobre el perfil lipídico producido por diferentes aceites de aguacate en ratón*. México D.F.: Instituto Politécnico Nacional; Escuela Nacional en Ciencias Biológicas, Sección de estudios de posgrado e investigación, 2008. 250 p.

7. LUNA ZUÑIGA, Glenda Rocío. *Análisis fisicoquímico y evaluación del rendimiento de extracción del aceite de semilla de morro (crescentia alata HBK) proveniente de las regiones de estanzuela Zacapa y San Agustín Acasaguastlán, El Progreso*. Trabajo de graduación de Ingeniería Química. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2007. 125 p.

8. MERIDA NORIEGA, Leo Amado. *Determinación del conjunto de variables, apropiadas para el proceso de extracción de aceite de pulpa de aguacate con solventes, a partir de pruebas a nivel de laboratorio y a nivel de planta piloto*. Trabajo de graduación de Ingeniería Química. Guatemala. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1994. 60 p.

9. OLAETA, J.A.; UNDURRAGA, Pedro; SCWARTZ, M. Determinación de la evolución y caracterización de los aceites en paltas (*Persea americana Mill.*) Cvs. Fuerte y Hass cultivados en Chile. Facultad de Agronomía Universidad Católica de Valparaíso – Chile. Casilla 4 – D Quillota – Chile y Facultad de Ciencias Agrarias Universidad de Chile. Santa Rosa Paradero 35 ½ La Pintanta, Santiago Chile.. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 5: 117 – 122. 1999.
10. PAHUA, Mario; ORTIZ, Antonio; CHAMORRO, Gonzalo. *Estudio de las Propiedades de la semilla de aguacate (Persea americana) variedad Hass, para el aprovechamiento integral del fruto*. México. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas; Instituto Politécnico Nacional, 2007. 75 p.
11. RAMÍREZ OVALLE, Lourdes María. *Evaluación del rendimiento de extracción y caracterización del aceite fijo de café tostado tipo genuino antigua obtenido por el proceso de prensado*. Trabajo de graduación de Ingeniería Química. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2008. 121 p.

APÉNDICES

Apéndice 1. **Informe de pruebas preliminares**

Procedimiento A

- Se seleccionó aguacate a una madurez de nivel B.
- Se quitó cascara y semilla.
- Se pesó la pulpa.
- Se hicieron rodajas de 1 mm de espesor aproximadamente.
- Se hizo una solución de maltodextrina al 50% y NaCl al 40%.
- Para el tratamiento con maltodextrina al 50% y NaCl al 40% se sumergió durante 10 horas.
- Se colocaron en bandejas las rodajas con tratamiento en un secador de flujo transversal a una temperatura de 60 grados Centígrados durante 12 horas continuas.
- Se retiraron las muestras de la bandeja y se midió porcentaje de humedad.
- Se lavó y se seco la cristalería.

Procedimiento B

- Se seleccionó aguacate a una madurez de Nivel B.
- Se quitó la cáscara y semilla.
- Se pesó la pulpa.
- Se hicieron rodajas de 1 milímetro de espesor aproximadamente.

Continuación del apéndice 1.

- Se sumergió con una solución de Maltodextrina al 50% y NaCl al 40%.
- Para el tratamiento con Maltodextrina al 50% y NaCl al 40% se sumergió durante 10 horas.
- Se colocaron en bandejas las rodajas con tratamiento en un secador de flujo transversal a una temperatura de 60 grados Centígrados durante 12 horas continuas.
- Se retiraron las muestras de la bandeja y se midió porcentaje de humedad.
- Se lavó y se seco la cristalería.

Procedimiento C

- Se seleccionó aguacate a una madurez de nivel A, B, C y D.
- Se quitó cáscara y semilla.
- Se pesó la pulpa.
- Se hizo una solución de maltodextrina al 50% con NaCl al 40%.
- Se dejó reposar durante 8 horas.
- Se licúo dicha solución con pulpa de aguacate.
- Se colocaron en bandejas las rodajas con tratamiento en un secador de flujo transversal a una temperatura de 60 grados Centígrados durante 24 horas continuas.
- Se retiraron las muestras de la bandeja y se midió porcentaje de humedad.
- Se lavó y se secó la cristalería.

Continuación del apéndice 1.

Procedimiento D

- Se seleccionó aguacate a una madurez de nivel A, B, C y D.
- Se quitó cascara y semilla.
- Se pesó la pulpa.
- Se hizo una solución sulfito de sodio al 1%.
- Se licúo la pulpa con la solución al 1% de sulfito de sodio.
- Se dejó reposar durante 15 minutos.
- Se colocaron en bandejas las rodajas con tratamiento en un secador de flujo transversal a una temperatura de 60 grados Centígrados durante 24 horas continuas.
- Se retiraron las muestras de la bandeja y se midió porcentaje de humedad.
- Se lavó y se secó la cristalería.

Procedimiento E

- Para determinar cual material es el más apto para las bandejas del secador de flujo transversal se realizaron pruebas con aluminio, teflón, bandejas de acero inoxidable y bandejas con reja de acero.

Continuación del apéndice 1.

Resultados de los procedimientos

Humedad de la pulpa de aguacate (*Persea americana Hass*)

Corrida	Temperatura (°C)	Tiempo (min)	Humedad (%)
1	105	49	78,5
2	105	52	79,2
3	105	44	80,2

Porcentaje de pérdida por semilla y cáscara del aguacate (*Persea americana Hass*)

Corrida	Porcentaje (%)
1	19,166
2	22,556
3	24,166

Tiempo de secado para procedimiento A, 15 de marzo del 2011

Procedimiento	Hora de Inicio	Hora de finalización	Tiempo
A	7:00 PM	9:40 AM	14 horas con 40 minutos
B	7:00 PM	9:40 AM	14 horas con 40 minutos

Continuación del apéndice 1.

Tiempo de secado para la pulpa, 5 de abril del 2011

Procedimiento	Hora de inicio	Hora de finalización	Tiempo
A	10:00 AM	9:40 AM	23 horas con 40 minutos
B	10:00 AM	9:40 AM	23 horas con 40 minutos

Porcentaje de humedad de las muestras

Procedimiento	Temperatura (°C)	Tiempo (min)	Humedad (%)
A	105	25	7,17
B	105	14	11,79
C	105	47	5,52
D	105	27	5,66

Porcentaje de humedad de las rodajas con el procedimiento B

Corrida	Temperatura (°C)	Tiempo (min)	Humedad (%)
1	105	31	3,86
2	105	28	2,59

Continuación del apéndice 1.

Porcentaje de humedad de rodajas con procedimiento A

Corrida	Temperatura (°C)	Tiempo (min)	Humedad (%)
1	105	75	18,5
2	105	99	19,5

Porcentaje de rendimiento de la pasta pulpa de aguacate (*Persea americana Hass*) a diferentes niveles de maduración con procedimiento A

Nivel de maduración	Rendimiento (%)
A	31,5
B	32,5
C	36,5
D	35,5

Continuación del apéndice 1.

Porcentaje de rendimiento de las rodajas de pulpa de aguacate (*Persea americana Hass*) a diferentes niveles de maduración con procedimiento B

Nivel de maduración	Rendimiento (%)
A	23,5
B	22,9
C	24,5
D	25,7

Porcentaje de rendimiento de las rodajas de pulpa de aguacate (*Persea americana Hass*) a diferentes niveles de maduración con procedimiento C

Nivel de Maduración	Rendimiento (%)
A	35,6
B	37,8
C	38,5
D	35,6

Continuación del apéndice 1.

Porcentaje de rendimiento de las rodajas de pulpa de aguacate (*Persea americana Hass*) a diferentes niveles de maduración con procedimiento D

Nivel de maduración	Rendimiento (%)
A	25,6
B	26,7
C	20,5
D	22,3

Porcentaje pérdida de las rodajas de pulpa de aguacate (*Persea americana Hass*) a diferentes tipos de procedimiento utilizando bandeja normal

Procedimiento	Pérdida (%)
A	15,56
B	12,8
C	13,5
D	12,5

Continuación del apéndice 1.

Porcentaje de pérdida de las rodajas de pulpa de aguacate (*Persea americana Hass*) a diferentes tipos de procedimiento utilizando bandeja de acero inoxidable

Procedimiento	Pérdida (%)
A	5,89
B	6,78
C	5,92
D	6,22

Porcentaje de pérdida de las rodajas de pulpa de aguacate (*Persea americana Hass*) a diferentes tipos de procedimiento utilizando aluminio en las bandejas de acero inoxidable

Procedimiento	Pérdida (%)
A	1,28
B	1,56
C	0,22
D	0,35

Continuación del apéndice 1.

Porcentaje de pérdida de las rodajas de pulpa de aguacate (*Persea americana Hass*) a diferentes tipos de procedimiento en los recipientes de teflón

Procedimiento	Pérdida (%)
A	0,56
B	0,22
C	0,27
D	0,87

Tiempo de secado con el secador al vacío de las rodajas de aguacate (*Persea americana Hass*) a diferentes tipos de procedimiento

Procedimiento	Tiempo (min)
A	92
B	85
C	93
D	97

Continuación del apéndice 1.

Tiempo de secado con el secador al vacío de las rodajas de aguacate (*Persea americana Hass*) a diferentes tipos de procedimiento

Procedimiento	Humedad (%)
A	32
B	28
C	35
D	26

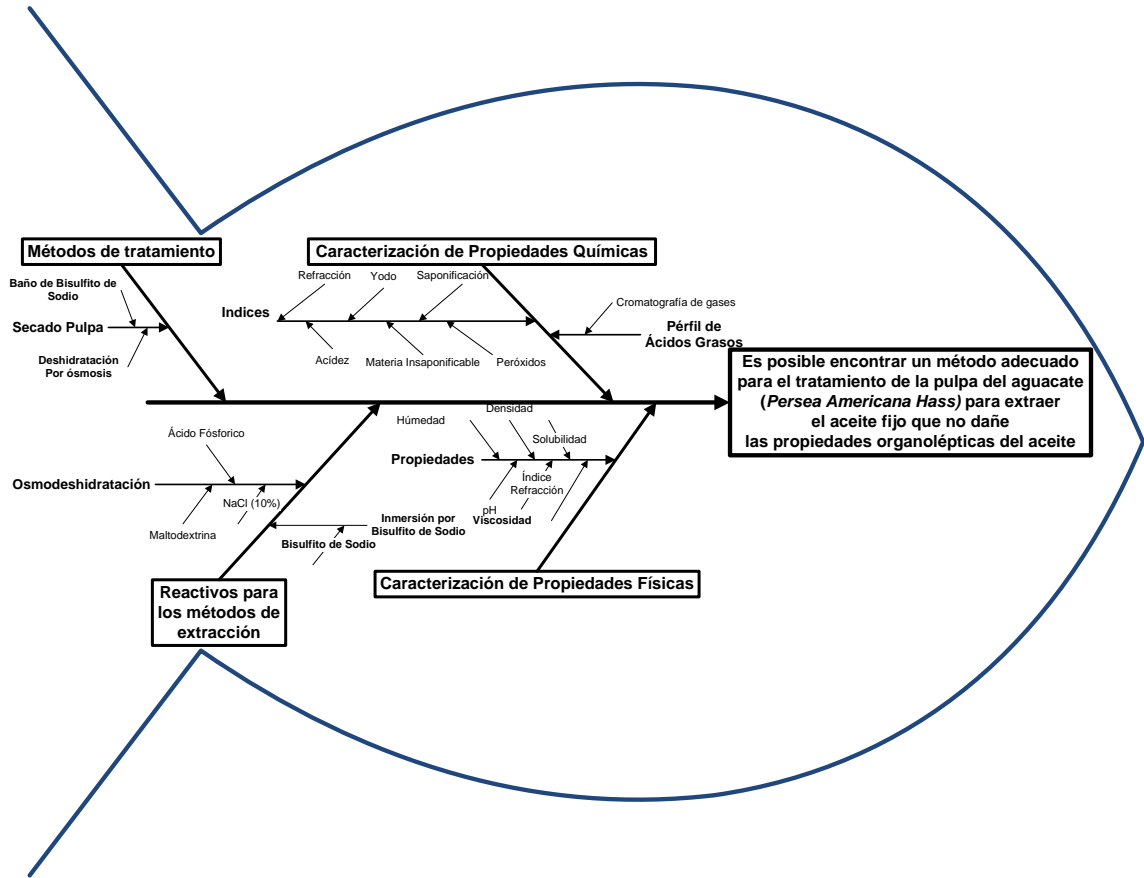
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. Tabla de requisitos académicos



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3. Diagrama de Ishikawa



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 4. **Datos originales**

Datos obtenidos durante los ensayos de índice de yodo

Descripción	Muestra con tratamiento de ácido fosfórico	Muestra con tratamiento de sulfito de sodio
Titulación en blanco	48 mL	48 mL
Titulación muestra	12,5 mL	11,5 mL
Normalidad de titulante	0,1 N	0,1 N
Peso muestra	0,56 g	0,57 g
cg de I / g muestra	85,92	85,15

Datos obtenidos durante los ensayos de índice de yodo de todas las muestras

Lote	Muestra con tratamiento de ácido fosfórico	Muestra con tratamiento de sulfito de sodio
1	85,92	85,15
2	85,96	84,70
3	85,97	84,66
4	86,23	85,10
5	85,66	83,90

Continuación del apéndice 4.

Datos obtenidos durante los ensayos de índice de saponificación

Descripción	Muestra con tratamiento de ácido fosfórico	Muestra con tratamiento de sulfito de sodio
Titulación en blanco	70,1 mL	72,3 mL
Titulación muestra	36,2 mL	37,4 mL
Normalidad de titulante	0,5 N	0,5 N
Peso muestra	5,28 g	5,3 g
Kg KOH / g muestra	190,12	197,88

Datos obtenidos durante los ensayos de índice de saponificación de todas las muestras

Lote	Muestra con tratamiento de ácido fosfórico	Muestra con tratamiento de sulfito de sodio
1	190,12	197,88
2	190,30	197,99
3	191,20	197,98
4	190,45	197,66
5	190,32	197,88

Continuación del apéndice 4.

Datos obtenidos durante los ensayos de índice de acidez

Descripción	Muestra con tratamiento de ácido fosfórico	Muestra con tratamiento de sulfito de sodio
Titulación muestra	0,15 mL	0,2 mL
Normalidad de titulante	0,25 N	0,25 N
Peso muestra	7,01 g	6,98 g
mg KOH / g muestra	1,33	1,18

Datos obtenidos durante los ensayos de índice de acidez de todas las muestras

Lote	Muestra con tratamiento de ácido fosfórico	Muestra con tratamiento de sulfito de sodio
1	1,33	1,18
2	1,32	1,10
3	1,39	1,20
4	1,26	1,17
5	1,39	1,18

Continuación del apéndice 4.

Datos obtenidos de los ensayos de índice de peróxidos

Descripción	Muestra con tratamiento de ácido fosfórico	Muestra con tratamiento de sulfito de sodio
Titulación en blanco	0,36 mL	0,36 mL
Titulación muestra	0,38 mL	0,40 mL
Normalidad de titulante	0,1 N	0,1 N
Peso muestra	5,01 g	5,1 g
m eq / kg	2,92	3,45

Datos obtenidos durante los ensayos de índice de peróxidos de todas las muestras

Lote	Muestra con tratamiento de ácido fosfórico	Muestra con tratamiento de sulfito de sodio
1	2,92	3,45
2	2,88	3,35
3	2,94	3,30
4	2,96	3,48
5	2,92	3,30

Continuación del apéndice 4.

Datos obtenidos de los ensayos de índice de DOBI

Descripción	Muestra con tratamiento de ácido fosfórico	Muestra con tratamiento de sulfito de sodio
Absorbancia 270 nm	0,0033	0,0099
Absorbancia 4465 nm	0,0023	0,006
Peso de la muestra	5,1 g	5,02 g
Índice de DOBI	0,06	0,10

Datos obtenidos durante los ensayos de índice de DOBI de todas las muestras

Lote	Muestra con tratamiento de ácido fosfórico	Muestra con tratamiento de sulfito de sodio
1	0,06	0,10
2	0,05	0,10
3	0,07	0,10
4	0,06	0,12
5	0,06	0,10

Continuación del apéndice 4.

Datos obtenidos de los ensayos de la prueba de totox

Descripción	Muestra con tratamiento de ácido fosfórico	Muestra con tratamiento de sulfito de sodio
Valor p – nisidina	0,46 ppm	0,49 ppm
Valor de peróxido	0,42 ppm	0,80 ppm
Índice de totox	30,55	21,12

Datos obtenidos durante los ensayos de la prueba de totox de todas las muestras

Lote	Muestra con tratamiento de ácido fosfórico	Muestra con tratamiento de sulfito de sodio
1	30,55	21,12
2	31,22	20,60
3	29,96	20,45
4	30,68	20,66
5	30,92	20,71

Datos obtenidos de los ensayos para determinar las gomas

Descripción	Muestra con tratamiento de ácido fosfórico	Muestra con tratamiento de sulfito de sodio
Tara inicial	96,88 g	98,11 g
Tara final	96,88 g	98,12 g
Porcentaje de gomas	0,12 %	0,13 %

Continuación del apéndice 4.

Datos obtenidos durante los ensayos para determinar la cantidad de gomas de todas las muestras

Lote	Muestra con tratamiento de ácido fosfórico	Muestra con tratamiento de sulfito de sodio
1	0,49	0,66
2	0,50	0,65
3	0,49	0,67
4	0,55	0,66
5	0,49	0,68

Datos obtenidos de los ensayos para determinar el valor de p – anisidina

Descripción	Muestra con tratamiento de ácido fosfórico	Muestra con tratamiento de sulfito de sodio
Absorbancia después de la reacción	0,038 nm	0,042 nm
Absorbancia antes de la reacción	0,035 nm	0,037 nm
Peso de la muestra	0,55 g	0,57 g
Valor p – anisidina	25,92	14,52

Continuación del apéndice 4.

Datos obtenidos durante los ensayos para determinar la cantidad de gomas de todas las muestras

Lote	Muestra con tratamiento de ácido fosfórico	Muestra con tratamiento de sulfito de sodio
1	25,92	14,52
2	23,72	14,21
3	24,42	13,80
4	24,72	14,32
5	24,70	14,20

Datos obtenidos de los ensayos para determinar el valor de p – anisidina

Descripción	Muestra con tratamiento de ácido fosfórico	Muestra con tratamiento de sulfito de sodio
NTU	3,025	2,982
Fósforos	343,49	340,49

Continuación del apéndice 4.

Datos obtenidos durante los ensayos para determinar la cantidad de fósforos de todas las muestras

Lote	Muestra con tratamiento de ácido fosfórico	Muestra con tratamiento de sulfito de sodio
1	343,49	340,49
2	342,96	341,50
3	343,49	340,49
4	343,87	338,49
5	343,99	343,52
5	343,99	343,52

Datos obtenidos durante los ensayos para determinar la cantidad de fosfátidos de todas las muestras

Lote	Muestra con tratamiento de ácido fosfórico	Muestra con tratamiento de sulfito de sodio
1	10 304,70	10 214,70
2	10 305,96	10 213,80
3	10 308,92	10 214,70
4	10 304,70	10 215,66
5	10 299,92	10 214,66

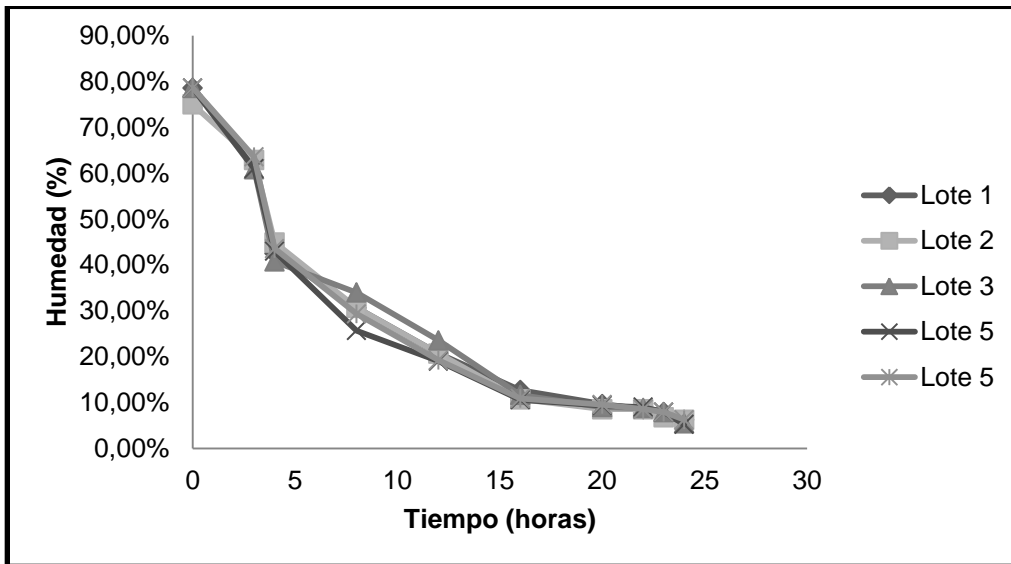
Continuación del apéndice 4.

Valores del porcentaje de humedad para las muestras con tratamiento de ácido fosfórico de los 5 lotes

Tiempo (horas)	Humedad A1	Humedad A2	Humedad A3	Humedad A4	Humedad A5
0	78,59%	75,00%	78,59%	78,59%	78,59%
3	62,93%	62,88%	60,88%	60,99%	63,55%
4	42,52%	44,89%	40,75%	42,97%	43,55%
8	30,66%	30,65%	33,98%	25,68%	29,33%
12	20,68%	20,66%	23,55%	18,99%	19,22%
16	12,69%	10,69%	11,63%	10,58%	10,88%
20	9,66%	8,55%	8,99%	9,33%	9,55%
22	8,52%	8,52%	8,77%	8,99%	8,52%
23	7,92%	6,78%	7,92%	7,92%	7,92%
24	6,23%	6,23%	5,45%	5,23%	6,23%

Continuación del apéndice 4.

Diferentes curvas de secado para los cinco lotes con tratamiento de ácido fosfórico



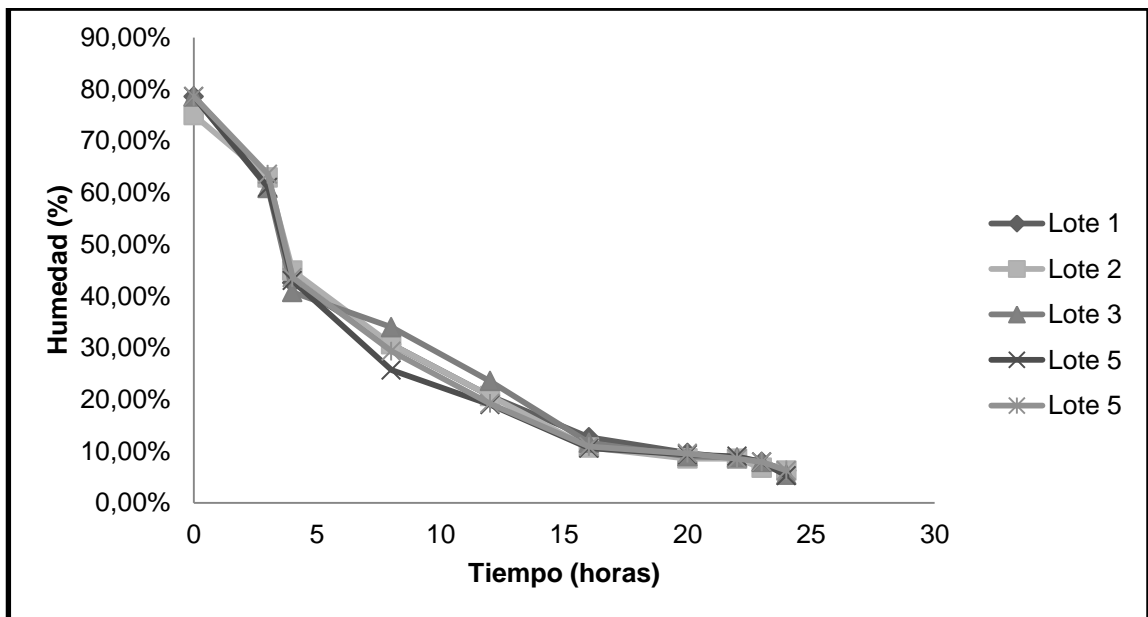
Valores del porcentaje de humedad para las muestras con tratamiento de sulfito de sodio de los cinco lotes

Tiempo (horas)	Humedad B1	Humedad B2	Humedad B3	Humedad B4	Humedad B5
0	78,59%	75,00%	78,59%	78,59%	78,59%
3	62,93%	58,96%	60,88%	60,99%	63,55%
4	48,98%	49,55%	47,96%	48,25%	37,88%
8	33,58%	35,89%	33,87%	33,98%	34,92%
12	21,56%	21,89%	22,65%	21,22%	20,68%
16	12,69%	10,69%	11,63%	11,22%	10,68%

Continuación del apéndice 4.

20	9,66%	8,55%	8,99%	9,33%	9,55%
22	8,52%	8,52%	8,77%	8,99%	8,52%
23	7,98%	6,78%	7,92%	7,95%	7,88%
24	5,22%	5,65%	5,85%	5,23%	5,64%

Diferentes curvas de secado para los cinco lotes con tratamiento de sulfito de sodio



Apéndice 5. Muestra de cálculo

De acuerdo con la ecuación 1, y los valores del apéndice 4, el índice de yodo, para el aceite de pulpa de aguacate, se determina:

$$\gamma = \frac{56,1 \text{ mL} \times 11,4 \text{ mL} \times 0,1 \text{ N} \times 12,69}{0,52 \text{ g}} = 85,92 \text{ g muestra}$$

Con la ecuación 2 y los valores del apéndice 4, el índice de saponificación, para el aceite de pulpa de aguacate, se determina:

$$\text{SAP} = \frac{56,1 \times 0,5 \text{ N} \times 69,2 \text{ mL} - 36,2 \text{ mL}}{5.296 \text{ mL}} = 190,12$$

El índice de acidez para el aceite de pulpa de aguacate, se calcula en base a la ecuación 5 y los valores del apéndice 4.

$$\% \text{AGL} = \frac{0,15 \times 0,25 \text{ N} \times 25,6}{7,01 \text{ g}} = 1,33 \frac{\text{mg KOH}}{\text{g muestra}}$$

El porcentaje de materia insaponificable, se calcula con base a la ecuación 6 y los valores del apéndice 4, para el aceite de pulpa de aguacate:

$$\% \text{AGL} = \frac{0,0223 - 0,00784 + 0 \times 100}{5,030 \text{ g}} = 0,29\%$$

El índice de peróxidos, se calcula en base a la ecuación 7 y a los valores del apéndice 4 para el aceite de pulpa de aguacate:

$$\%AGL = \frac{0,1 \text{ N} \times 0,38 \text{ mL} - 0,359 \text{ mL} \times 1000}{4,98 \text{ g}} = 2,92 \frac{\text{m eq}}{\text{kg}}$$

El contenido de ceras en la muestra de aceite de pulpa de aguacate, se determina con la ecuación 8 y los NTU para la muestra y el blanco son:

$$\text{Ceras} = (3,6 - 0,1) \times 39,2 + 40,1 = 535,58 \text{ ppm}$$

Se utiliza la ecuación 9 y los valores del apéndice 4 en la determinación de gomas, para el aceite de pulpa de aguacate:

$$\% \text{ Gomas} = 96,9132 - 96,7889 = 0,50\% \text{ en gomas}$$

Con la ecuación 11 se determina el valor de la p – anisidina y con los datos de valores del apéndice 4, para el aceite de pulpa de aguacate, se tiene:

$$\%AGL = \frac{25 \times 1,2 \times 0,038 \text{ nm} - 0,0355 \text{ nm}}{0,55 \text{ g}} = 24,70 \text{ g}$$

Para realizar la determinación de fosfátidos y fósforo, se hace uso de la tabla LX, y se tomó la ecuación para aceite blanqueado, ya que el aceite estaba muy claro, y no marcaría lectura si se utilizara la ecuación de aceite crudo.

$$P = (1,27 \times \text{NTU}) - 0,255$$

Sustituyendo datos del apéndice 4 para el aceite de pulpa de aguacate en esta ecuación, se tiene:

$$P = (1,27 * 3,0236) - 0.255 = 343,53 \text{ ppm}$$

$$\text{Fosfátidos} = P * 30 = 10\,384,84 \text{ ppm}$$

Apéndice 6. Análisis estadístico

Las operaciones para la prueba de t de student se resumen en la siguiente tabla, así como las fórmulas para el cálculo.

Se desea probar la hipótesis nula de que la pendiente β es igual a algún valor especificado β_0 (a menudo toma el valor 0, en cuyo caso la hipótesis es que x e y no están relacionados).

Sea

$$\begin{aligned} \alpha, \beta &= \text{estimadores de cuadrados mínimos} \\ SE_{\alpha}, SE_{\beta} &= \text{error estándar de cuadrados mínimos} \end{aligned}$$

Luego

$$t_{\text{valor}} = \frac{\beta - \beta_0}{SE_{\beta}}$$

tiene una distribución t con $n - 2$ grados de libertad si la hipótesis nula es verdadera. El error estándar de la pendiente:

$$SE_{\hat{\beta}} = \frac{\sqrt{\frac{1}{n-2} \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{y}_i)^2}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}}$$

Continuación del apéndice 6.

Puede ser reescrito en términos de los residuales:

$$\varepsilon_i = Y_i - y_i = Y_i - \alpha + \beta x_i = \text{residuales} = \text{errores estimados}$$

$$SSE = \sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2 = \text{suma de cuadrados residuales}$$

Luego t_{valor} se encuentra dado por.

$$t_{\text{valor}} = \frac{\beta - \beta_0 \sqrt{n-2}}{\frac{SSE}{\sum_{i=1}^n x_i - x^2}}$$

Comparación entre dos medias poblacionales apareadas con cinco ensayos de cada tratamiento para el análisis del índice de acidez

Descripción	Valor
Coeficiente de correlación de Pearson	0,3887304
Diferencia hipotética de las medias	0
Grados de libertad	4
Estadístico t	7,2425065
P(T<=t) una cola	0,0009645
Valor crítico de t (una cola)	2,1318468
P(T<=t) dos colas	0,0019289
Valor crítico de t (dos colas)	2,7764451

Continuación del apéndice 6.

Según el valor estadístico de t, se acepta la hipótesis nula, por lo que no hay diferencia significativa entre los valores del índice de acidez de la muestra de aceite de pulpa de aguacate tratado con ácido fosfórico y sulfito de sodio.

Comparación entre dos medias poblacionales apareadas con cinco ensayos de cada tratamiento para el análisis del índice de peróxido.

Descripción	Valor
Coefficiente de correlación de Pearson	0,3672838
Diferencia hipotética de las medias	0
Grados de libertad	4
Estadístico t	-12,86711
P(T<=t) una cola	0,0001052
Valor crítico de t (una cola)	2,1318468
P(T<=t) dos colas	0,0002103
Valor crítico de t (dos colas)	2,7764451

Según el valor estadístico de t, se acepta la hipótesis alterna, por lo que si hay diferencia significativa entre los valores del índice de peróxido de las muestras de aceite de pulpa de aguacate tratado con ácido fosfórico y sulfito de sodio.

Continuación del apéndice 6.

Comparación entre dos medias poblacionales apareadas con cinco ensayos de cada tratamiento para el análisis del índice de yodo

Descripción	Valor
Coeficiente de correlación de Pearson	0,8128271
Diferencia hipotética de las medias	0
Grados de libertad	4
Estadístico t	7,814101
P(T<=t) una cola	0,0007238
Valor crítico de t (una cola)	2,1318468
P(T<=t) dos colas	0,0014476
Valor crítico de t (dos colas)	2,7764451

Según el valor estadístico de t, se acepta la hipótesis alterna, por lo que si hay diferencia significativa entre los valores del índice de yodo de las muestra de aceite de pulpa de aguacate tratado con ácido fosfórico y sulfito de sodio.

Continuación del apéndice 6.

Comparación entre dos medias poblacionales apareadas con cinco ensayos de cada tratamiento para el valor de p – anisidina

Descripción	Valor
Coeficiente de correlación de Pearson	0,5924672
Diferencia hipotética de las medias	0
Grados de libertad	4
Estadístico t	34,822799
P(T<=t) una cola	2,029E-06
Valor crítico de t (una cola)	2,1318468
P(T<=t) dos colas	4,058E-06
Valor crítico de t (dos colas)	2,7764451

Según el valor estadístico de t, se acepta la hipótesis alterna, por lo que si hay diferencia significativa entre los valores de p - nisidina de las muestra de aceite de pulpa de aguacate tratado con ácido fosfórico y sulfito de sodio.

Continuación del apéndice 6.

Comparación entre dos medias poblacionales apareadas con cinco ensayos de cada tratamiento para el valor Totox

Descripción	Valor
Coeficiente de correlación de Pearson	0,1581314
Diferencia hipotética de las medias	0
Grados de libertad	4
Estadístico t	44,869514
P(T<=t) una cola	7,377E-07
Valor crítico de t (una cola)	2,1318468
P(T<=t) dos colas	1,475E-06
Valor crítico de t (dos colas)	2,7764451

Según el valor estadístico de t, se acepta la hipótesis alterna, por lo que si hay diferencia significativa entre los valores de Totox de las muestra de aceite de pulpa de aguacate tratado con ácido fosfórico y sulfito de sodio.

Continuación del apéndice 6.

Comparación entre dos medias poblacionales apareadas con cinco ensayos de cada tratamiento para el análisis Índice de DOBI

Descripción	Valor
Coeficiente de correlación de Pearson	0,0157799
Diferencia hipotética de las medias	0
Grados de libertad	4
Estadístico t	-8,728975
P(T<=t) una cola	0,0004745
Valor crítico de t (una cola)	2,1318468
P(T<=t) dos colas	0,0009489
Valor crítico de t (dos colas)	2,7764451

Según el valor estadístico de t, se acepta la hipótesis alterna, por lo que si hay diferencia significativa entre los valores de DOBI de las muestra de aceite de pulpa de aguacate tratado con ácido fosfórico y sulfito de sodio.

Continuación del apéndice 6.

Comparación entre dos medias poblacionales apareadas con cinco ensayos de cada tratamiento para la humedad

Descripción	Valor
Coeficiente de correlación de Pearson	0,4576043
Diferencia hipotética de las medias	0
Grados de libertad	4
Estadístico t	-22,63781
P(T<=t) una cola	1,128E-05
Valor crítico de t (una cola)	2,1318468
P(T<=t) dos colas	2,255E-05
Valor crítico de t (dos colas)	2,7764451

Según el valor estadístico de t, se acepta la hipótesis alterna, por lo que si hay diferencia significativa entre los valores de humedad de las muestra de aceite de pulpa de aguacate tratado con ácido fosfórico y sulfito de sodio.

Continuación del apéndice 6.

Comparación entre dos medias poblacionales apareadas con cinco ensayos de cada tratamiento para el contenido de fósforo

Descripción	Valor
Coeficiente de correlación de Pearson	0,026071
Diferencia hipotética de las medias	0
Grados de libertad	4
Estadístico t	3,1970723
P(T<=t) una cola	0,0164964
Valor crítico de t (una cola)	2,1318468
P(T<=t) dos colas	0,0329928
Valor crítico de t (dos colas)	2,7764451

Fuente: elaboración propia.

Según el valor estadístico de t, se acepta la hipótesis nula, por lo que no hay diferencia significativa entre el contenido de fósforo de las muestra de aceite de pulpa de aguacate tratado con ácido fosfórico y sulfito de sodio.

Continuación del apéndice 6.

Comparación entre dos medias poblacionales apareadas con cinco ensayos de cada tratamiento para el contenido de fosfátidos

Descripción	Valor
Coeficiente de correlación de Pearson	-0,11064
Diferencia hipotética de las medias	0
Grados de libertad	4
Estadístico t	59,582594
P(T<=t) una cola	2,376E-07
Valor crítico de t (una cola)	2,1318468
P(T<=t) dos colas	4,752E-07
Valor crítico de t (dos colas)	2,7764451

Según el valor estadístico de t, se acepta la hipótesis alterna, por lo que si hay diferencia significativa entre el contenido de fosfátidos de las muestra de aceite de pulpa de aguacate tratado con ácido fosfórico y sulfito de sodio.

Continuación del apéndice 6.

Comparación entre dos medias poblacionales apareadas con cinco ensayos de cada tratamiento para el contenido de ceras

Descripción	Valor
Coeficiente de correlación de Pearson	-0,86924
Diferencia hipotética de las medias	0
Grados de libertad	4
Estadístico t	-20,2609
P(T<=t) una cola	1,752E-05
Valor crítico de t (una cola)	2,1318468
P(T<=t) dos colas	3,503E-05
Valor crítico de t (dos colas)	2,7764451

Según el valor estadístico de t, se acepta la hipótesis alterna, por lo que si hay diferencia significativa entre el contenido de ceras de las muestra de aceite de pulpa de aguacate tratado con ácido fosfórico y sulfito de sodio.

Continuación del apéndice 6.

Comparación entre dos medias poblacionales apareadas con cinco ensayos de cada tratamiento para el contenido de jabón

Descripción	Valor
Coeficiente de correlación de Pearson	0,6348585
Diferencia hipotética de las medias	0
Grados de libertad	4
Estadístico t	-796,8256
P(T<=t) una cola	7,442E-12
Valor crítico de t (una cola)	2,1318468
P(T<=t) dos colas	1,488E-11
Valor crítico de t (dos colas)	2,7764451

Según el valor estadístico de t, se acepta la hipótesis alterna, por lo que si hay diferencia significativa entre el contenido de jabón de las muestra de aceite de pulpa de aguacate tratado con ácido fosfórico y sulfito de sodio.

Continuación del apéndice 6.

Comparación entre dos medias poblacionales apareadas con cinco ensayos de cada tratamiento para el índice de saponificación

Descripción	Valor
Coeficiente de correlación de Pearson	0,2633442
Diferencia hipotética de las medias	0
Grados de libertad	4
Estadístico t	-40,74183
P(T<=t) una cola	1,084E-06
Valor crítico de t (una cola)	2,1318468
P(T<=t) dos colas	2,169E-06
Valor crítico de t (dos colas)	2,7764451

Según el valor estadístico de t, se acepta la hipótesis alterna, por lo que si hay diferencia significativa entre los valores del índice de saponificación de las muestra de aceite de pulpa de aguacate tratado con ácido fosfórico y sulfito de sodio.

Continuación del apéndice 6.

Comparación entre dos medias poblacionales apareadas con cinco ensayos de cada tratamiento para el contenido de gomas

Descripción	Valor
Coeficiente de correlación de Pearson	-0,31952
Diferencia hipotética de las medias	0
Grados de libertad	4
Estadístico t	-11,31371
P(T<=t) una cola	0,0001739
Valor crítico de t (una cola)	2,1318468
P(T<=t) dos colas	0,0003479
Valor crítico de t (dos colas)	2,7764451

Según el valor estadístico de t, se acepta la hipótesis alterna, por lo que si hay diferencia significativa entre el contenido de gomas de las muestra de aceite de pulpa de aguacate tratado con ácido fosfórico y sulfito de sodio.

Continuación del apéndice 6.

Comparación entre dos medias poblacionales apareadas con cinco ensayos de cada tratamiento para la densidad

Descripción	Valor
Coeficiente de correlación de Pearson	0,05840639
Diferencia hipotética de las medias	0
Grados de libertad	4
Estadístico t	0,26607604
P(T<=t) una cola	0,4016663
Valor crítico de t (una cola)	2,13184678
P(T<=t) dos colas	0,80333261
Valor crítico de t (dos colas)	2,77644511

Según el valor estadístico de t, se acepta la hipótesis nula, por lo que no hay diferencia significativa entre los valores de densidad de las muestra de aceite de pulpa de aguacate tratado con ácido fosfórico y sulfito de sodio.

Continuación del apéndice 6.

Comparación entre dos medias poblacionales apareadas con cinco ensayos de cada tratamiento para la viscosidad

Descripción	Valor
Coeficiente de correlación de Pearson	0,11752948
Diferencia hipotética de las medias	0
Grados de libertad	4
Estadístico t	-1,38379681
P(T<=t) una cola	0,11931391
Valor crítico de t (una cola)	2,13184678
P(T<=t) dos colas	0,23862783
Valor crítico de t (dos colas)	2,77644511

Según el valor estadístico de t, se acepta la hipótesis nula, por lo que no hay diferencia significativa entre la viscosidad de las muestra de aceite de pulpa de aguacate tratado con ácido fosfórico y sulfito de sodio.

Continuación del apéndice 6.

Comparación entre dos medias poblacionales apareadas con cinco ensayos de cada tratamiento para el punto de ebullición

Descripción	Valor
Coefficiente de correlación de Pearson	0,56509541
Diferencia hipotética de las medias	0
Grados de libertad	4
Estadístico t	-1,37238734
P(T<=t) una cola	0,12093377
Valor crítico de t (una cola)	2,13184678
P(T<=t) dos colas	0,24186755
Valor crítico de t (dos colas)	2,77644511

Según el valor estadístico de t, se acepta la hipótesis alterna, por lo que si hay diferencia significativa entre los valores del punto de ebullición de las muestra de aceite de pulpa de aguacate tratado con ácido fosfórico y sulfito de sodio.

Continuación del apéndice 6.

Comparación entre dos medias poblacionales apareadas con cinco ensayos de cada tratamiento para el índice de refracción

Descripción	Valor
Coeficiente de correlación de Pearson	0,05988036
Diferencia hipotética de las medias	0
Grados de libertad	4
Estadístico t	9,64603582
P(T<=t) una cola	0,00032302
Valor crítico de t (una cola)	2,13184678
P(T<=t) dos colas	0,00064604
Valor crítico de t (dos colas)	2,77644511

Según el valor estadístico de t, se acepta la hipótesis alterna, por lo que si hay diferencia significativa entre los valores del índice de refracción de las muestra de aceite de pulpa de aguacate tratado con ácido fosfórico y sulfito de sodio.

Continuación del apéndice 6.

Comparación entre dos medias poblacionales apareadas con cinco ensayos de cada tratamiento para el rendimiento de la materia inicial en función al contenido de aceite

Descripción	Valor
Coeficiente de correlación de Pearson	0,27631112
Diferencia hipotética de las medias	0
Grados de libertad	4
Estadístico t	1,42269285
P(T<=t) una cola	0,11395168
Valor crítico de t (una cola)	2,13184678
P(T<=t) dos colas	0,22790337
Valor crítico de t (dos colas)	2,77644511

Según el valor estadístico de t, se acepta la hipótesis nula, por lo que no hay diferencia significativa entre los valores del rendimiento en función de la materia inicial con el contenido de aceite de aguacate tratado con ácido fosfórico y sulfito de sodio.

Continuación del apéndice 6.

Comparación entre dos medias poblacionales apareadas con cinco ensayos de cada tratamiento para el rendimiento de la materia inicial seca en función al contenido de aceite

Descripción	Valor
Coeficiente de correlación de Pearson	-0,37666041
Diferencia hipotética de las medias	0
Grados de libertad	4
Estadístico t	-8,02246617
P(T<=t) una cola	0,00065492
Valor crítico de t (una cola)	2,13184678
P(T<=t) dos colas	0,00130985
Valor crítico de t (dos colas)	2,77644511

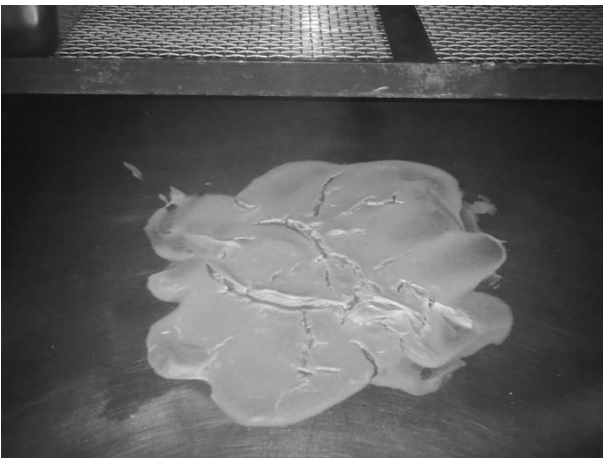
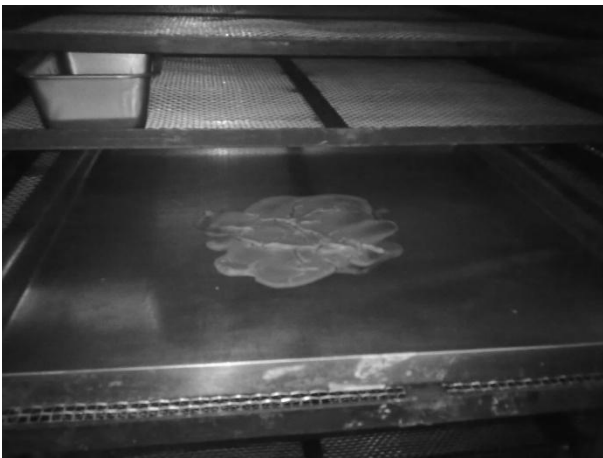
Según el valor estadístico de t, se acepta la hipótesis alterna, por lo que si hay diferencia significativa entre los valores del rendimiento tomando como referencia la materia deshidratada, de las muestra de aceite de pulpa de aguacate tratado con ácido fosfórico y sulfito de sodio.

Apéndice 7. Fotografías de la fase experimental para realizar el estudio

Pruebas preliminares realizadas en el laboratorio de extractos vegetales



Continuación del apéndice 7.

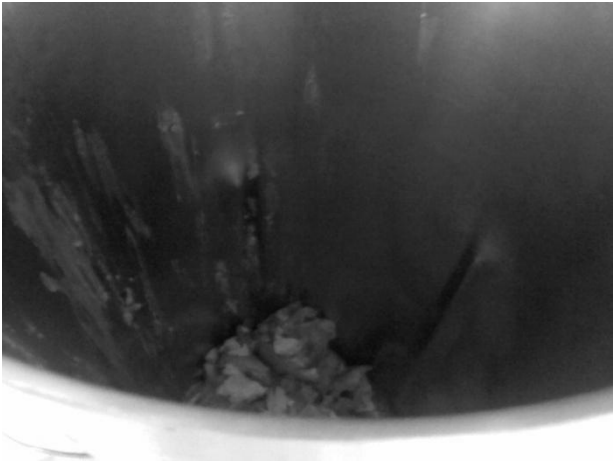


Continuación del apéndice 7.



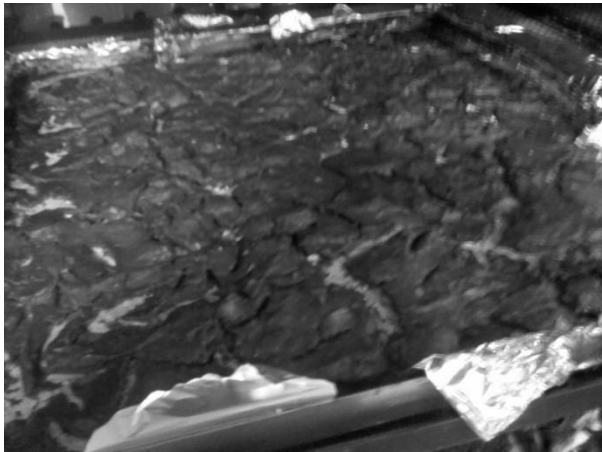
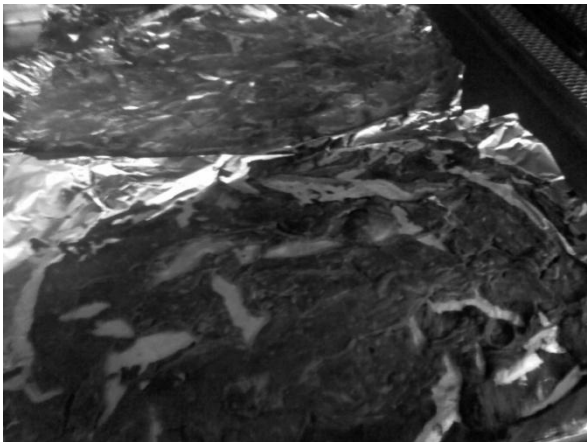
Continuación del apéndice 7.

Preparación de la materia prima aguacate (*Persea americana Hass*)



Continuación del apéndice 7.

Secado de la materia prima con tratamiento de ácido fosfórico y sulfito de sodio.



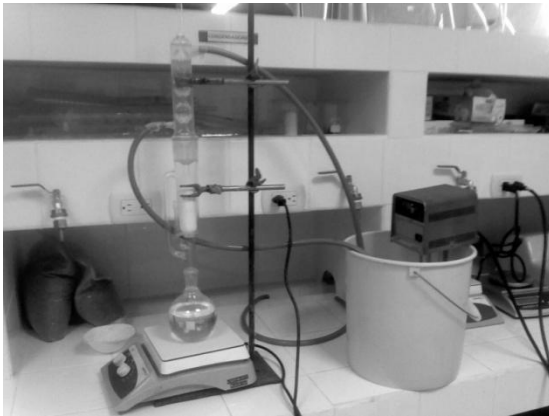
Continuación del apéndice 7.

Prensado de la materia seca con ambos tratamientos



Continuación del apéndice 7.

Pruebas de caracterización para las propiedades físicas y químicas




Fuente: Laboratorio de Extractos Vegetales del Centro de Investigaciones de la FIUSAC, edificio T – 5.

ANEXOS

Anexo 1. Análisis proximal de dos muestras de pulpa de aguacate deshidratado y muestras de pulpa después del prensado


Elaborado por: José María de Haro Quiroz
Atribuido por: Lic. Miguel Ángel Rodenas

Página 1 de 2



Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia
Escuela de Zootecnia
Unidad de Alimentación Animal

FORMULARIO BRONATO 7
INFORME DE RESULTADO DE ANÁLISIS



Bromatología
UNICEN

Edificio M-2, 2º nivel, Ciudad Universitaria, zona 12
Ciudad de Guatemala
Teléfono 476 4352 Teléfono 4429988 ext. 1676
E-mail: bromat@unicen.edu.gt

Solicitado por: **GLENDARCIO LUNA ZUÑIGA** Dirección: **26AV. 23-50, ZONA 5** No. **122**


Fecha de recibida la muestra: **24-04-2006** Fecha de realización: **DEL 04- AL 08-05-2006**

Nº	Descripción de la muestra	MOI	Agua %	H.S. %	S.L. %	F.C. %	Proteína Cruda %	Cenizas %	E.L.B. %	Calcio %	Fósforo %	F.A.S. %	F.B.S. %	Lipidos %	Esp. Pelotas %	Op. K.O.H. %	P.H.	E.S. P-470
271	MICRO I (Desecada alata HW)	SECA	6.03	93.97	12.21	16.47	42.26	6.18	42.36									
		CEMO ALBENTADO	---	---	11.48	16.47	39.85	4.87	39.85									
272	MICRO II (Desecada alata HW)	SECA	2.96	97.04	6.19	32.81	42.27	5.28	26.70									
		CEMO ALBENTADO	---	---	6.87	33.08	41.18	5.16	26.04									
		SECA																
		CEMO ALBENTADO																
		SECA																
		CEMO ALBENTADO																


CONSIDERACIONES:
Señale resultado (valor calculado en base húmeda o seco) y base húmeda. Si contiene la reproducción por escrito total de esta información, para mayor información, consulte al Tel. 2476-45-52

* Modificación a la ISO

Lic. María A. Méndez
Laboratorista



Lic. Miguel Ángel Rodenas
Jefe Laboratorio de Bromatología



Número: 1306/121
450/06

Fuente: elaborado por la Unidad de Toxicología de la Facultad de Veterinaria USAC.

Anexo 2. Índices de calidad del CODEX ALIMENTUS

OTROS FACTORES DE CALIDAD Y COMPOSICIÓN		
El presente texto está destinado a su aplicación voluntaria por los socios comerciales y no por los gobiernos.		
1. CARACTERÍSTICAS DE CALIDAD		
1.1 El color, olor y sabor de cada producto deberán ser característicos del producto designado, que deberá estar exento de olores y sabores extraños o rancios.		
		<u>Dosis máxima</u>
1.2	Materia volátil a 105°C	0,2% m/m
1.3	Impurezas insolubles	0,05% m/m
1.4	Contenido de jabón	0,005% m/m
1.5	Hierro (Fe):	
	Aceites vírgenes	1,5 mg/kg
	Aceites vírgenes	5,0 mg/kg
1.6	Cobre (Cu):	
	Aceites refinados	0,1 mg/kg
	Aceites vírgenes	0,4 mg/kg
1.7	Índice de ácido:	
	Aceites refinados	0,6 mg de KOH/g de aceite
	Aceites prensados en frío y vírgenes	4,0 mg de KOH/g de aceite
	Aceites de palma vírgenes	10,0 mg de KOH/g de aceite
1.8	Índice de peróxido:	
	Aceites refinados	hasta 10 miliequivalente de oxígeno activo/kg de aceite
	Aceites prensados en frío y vírgenes	hasta 15 miliequivalentes de oxígeno activo/kg de aceite

Fuente: CODEX ALIMENTUS. 98 p.

Anexo 3. **Propiedades físicas de aceites vegetales crudos del CODEX ALIMENTUS**

	Aceite de maní	Aceite de babasú	Aceite de coco	Aceite de semilla de algodón	Aceite de pepitas de uva	Aceite de maíz	Aceite de semilla de mostaza	Aceite de palma	Aceite de almendra de palma	Oleína de palma ²
Densidad relativa (x° C la agua a 20°C)	0.912-0.920	0.914-0.917	0.908-0.921	0.918-0.926	0.920-0.926	0.917-0.925	0.910-0.921	0.891-0.899	0.899-0.914	0.899-0.920
Densidad aparente (g/ml)	x=20°C	x=25°C	x=40°C	x=20°C	x=20°C	x=20°C	x=20°C	x=50°C 0.889-0.895	x=40°C	x=40°C 0.896-0.898
Índice de refracción (ND 40°C)	1.460-1.465	1.448-1.451	1.448-1.450	1.458-1.466	1.467-1.477	1.465-1.468	1.461-1.469	1.454-1.456 at 50°C	1.448-1.452	1.458-1.460
Índice de saponificación (mg KOH/g de aceite)	187-196	245-256	248-265	189-198	188-194	187-195	168-184	190-209	230-254	194-202
Índice de yodo	86-107	10-18	6.3-10.6	100-123	128-150	103-135	92-125	50.0-55.0	14.1-21.0	≥ 56
Materia insaponificable (g/kg)	≤ 10	≤ 12	≤ 15	≤ 15	≤ 20	≤ 28	≤ 15	≤ 12	≤ 10	≤ 13
Relación de isótopo de carbono estable*						-13.71 to -16.36				

Fuente: CODEX ALIMENTUS. 99 p.