



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

**EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO EXTRACTIVO E ÍNDICES DE CALIDAD DEL ACEITE
FIJO DE LA NUEZ DE MARAÑÓN (*Anacardium occidentale* L.), OBTENIDO POR EL
MÉTODO DE LIXIVIACIÓN MACERACIÓN DINÁMICA CON REFLUJO UTILIZANDO TRES
SOLVENTES A ESCALA LABORATORIO**

Adriana Lissette López Tejeda

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

Guatemala, septiembre de 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO EXTRACTIVO E ÍNDICES DE CALIDAD DEL ACEITE
FIJO DE LA NUEZ DE MARAÑÓN (*Anacardium occidentale* L.), OBTENIDO POR EL
MÉTODO DE LIXIVIACIÓN MACERACIÓN DINÁMICA CON REFLUJO UTILIZANDO TRES
SOLVENTES A ESCALA LABORATORIO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

ADRIANA LISSETTE LÓPEZ TEJEDA

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

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERA QUÍMICA

GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Raúl Eduardo Ticún Córdova
VOCAL V	Br. Henry Fernando Duarte García
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Víctor Herbert De León Morales
EXAMINADOR	Ing. Jorge Emilio Godínez Lemus
EXAMINADOR	Ing. Williams Guillermo Álvarez Mejía
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

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 EXTRACTIVO E ÍNDICES DE CALIDAD DEL ACEITE FIJO DE LA NUEZ DE MARAÑÓN (*Anacardium occidentale* L.), OBTENIDO POR EL MÉTODO DE LIXIVIACIÓN MACERACIÓN DINÁMICA CON REFLUJO UTILIZANDO TRES SOLVENTES A ESCALA LABORATORIO

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha 18 de junio de 2015.

Adriana Lissette López Tejeda



Guatemala, 01 de Junio de 2016

Ingeniero
Carlos Salvador Wong Davi
Director Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala
Presente

Estimado Ingeniero Wong:

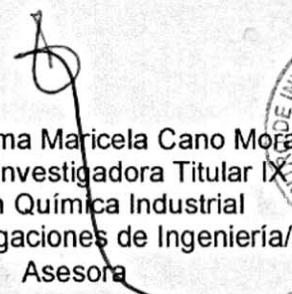
Por medio de la presente HACEMOS CONSTAR que hemos revisado y dado nuestra aprobación al Informe Final del trabajo de graduación titulado "EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO EXTRACTIVO E ÍNDICES DE CALIDAD DEL ACEITE FIJO DE LA NUEZ DE MARAÑÓN (*Anacardium occidentale* L.), OBTENIDO POR EL MÉTODO DE LIXIVIACIÓN MACERACIÓN DINÁMICA CON REFLUJO UTILIZANDO TRES SOLVENTES A ESCALA LABORATORIO", de la estudiante de Ingeniería Química Adriana Lissette López Tejeda quien se identifica con el carné número 2010-22795.

Sin otro particular me suscribo de usted.

Atentamente,


Ing. Qco. Mario José Mérida Mer
JEFE
Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales
Sección Química Industrial CII / USAC
Asesor




Inga. Qca. Telma Maricela Cano Morales
Profesora Investigadora Titular IX
Sección Química Industrial
Centro de Investigaciones de Ingeniería/USAC
Asesora





Guatemala, 18 de agosto de 2016.
 Ref. EIQR.TG-IF.042.2016.

Ingeniero
 Carlos Salvador Wong Davi
 DIRECTOR
 Escuela de Ingeniería Química
 Facultad de Ingeniería

Estimado Ingeniero Wong:

Como consta en el registro de evaluación del informe final EIQR-PRO-REG-007 correlativo **042-2015** 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 la estudiante universitaria: **Adriana Lissette López Tejeda**.
 Identificada con número de carné: **2010-22795**.
 Previo a optar al título de **INGENIERA QUÍMICA**.

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:

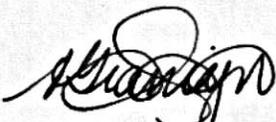
EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO EXTRACTIVO E ÍNDICES DE CALIDAD DEL ACEITE FIJO DE LA NUEZ DE MARAÑÓN (*Anacardium occidentale* L.), OBTENIDO POR EL MÉTODO DE LIXIVIACIÓN MACERACIÓN DINÁMICA CON REFLUJO UTILIZANDO TRES SOLVENTES A ESCALA LABORATORIO

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

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"

Adolfo Gramajo
 Ingeniero Químico
 Colegiado 264


 Ing. Adolfo Narciso Gramajo Antonio
 COORDINADOR DE TERNA
 Tribunal de Revisión
 Trabajo de Graduación



C.c.: archivo





Ref.EIQ.TG.048.2016

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 de la estudiante, **ADRIANA LISSETTE LÓPEZ TEJEDA** titulado: **"EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO EXTRACTIVO E ÍNDICES DE CALIDAD DEL ACEITE FIJO DE LA NUEZ DE MARAÑÓN (*Anacardium occidentale* L.), OBTENIDO POR EL MÉTODO DE LIXIVIACIÓN MACERACIÓN DINÁMICA CON REFLUJO UTILIZANDO TRES SOLVENTES A ESCALA LABORATORIO"**. Procede a la autorización del mismo, ya que reúne el rigor, la secuencia, la pertinencia y la coherencia metodológica requerida.

"Id y Enseñad a Todos"

Ing. Carlos Salvador Wong Davi
Director
Escuela de Ingeniería Química



Guatemala, septiembre 2016

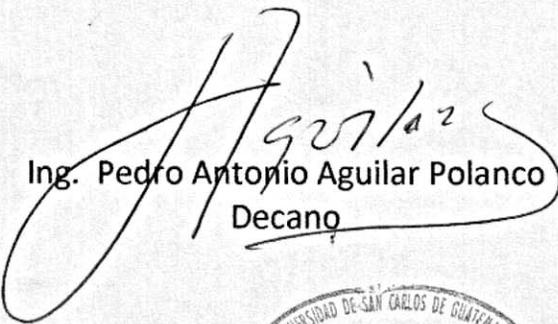
Cc: Archivo
CSWD/ale



DTG. 436.2016

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 EXTRACTIVO E ÍNDICES DE CALIDAD DEL ACEITE FIJO DE LA NUEZ DE MARAÑÓN (*Anacardium occidentale L.*), OBTENIDO POR EL MÉTODO DE LIXIVIACIÓN MACERACIÓN DINÁMICA CON REFLUJO UTILIZANDO TRES SOLVENTES A ESCALA LABORATORIO,** presentado por la estudiante universitaria: **Adriana Lissette López Tejeda,** y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:


Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano

Guatemala, septiembre de 2016

/gdech



ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por ser el pilar de mi vida y bendecirme con la mejor familia.
Mis padres	Victor López y Nydia Tejeda, por enseñarme el significado del amor más puro y por su apoyo incondicional
Mis hermanos	Karin y Pablo, por ser lo más importante que Dios me regaló.
Mi familia	Por su amor y cariño.
Mi abuelita	María Culajay, (q. e. p. d.) por ser mi mayor ejemplo de humildad, sacrificio y bondad.
Mi abuelita	Margarita Poma, por tu amor y cariño incomparable.

AGRADECIMIENTOS A:

- Mis padres** Por todo su esfuerzo para siempre darme lo mejor y hacer de mí una mujer de bien. Por enseñarme todo lo que sé y su ejemplo de amor verdadero.
- Mis hermanos** Por ser mis compañeros de vida y mis personas favoritas.
- Mis asesores** Telma Cano y Mario Mérida, por brindarme la oportunidad de realizar este trabajo de investigación y su esfuerzo por corregirlo.
- Mi madrina** María Eugenia López, por su apoyo para la realización de la caracterización fisicoquímica de este informe.
- Licda. Ana Mendizabal** Por su ayuda en la caracterización fisicoquímica de este informe.
- Mis amigas** Silda Mora y Yoseline Colón, por todos los buenos y malos momentos que hemos vivido en todos estos años de amistad verdadera. Compartir la aventura de la universidad con tus mejores amigas, no tiene precio.

Mi amiga

Karla Pérez, por ser mi mejor amiga de toda la vida y porque estoy segura que pase lo que pase, siempre seremos inseparables.

Mis amigas

Andrea Guerra, Paola Dieguez, Bárbara Pineda y María José Gálvez, por su amistad verdadera e incondicional por tantos años.

Mis amigos

Por todos los momentos compartidos durante la carrera, se ganaron parte de mi corazón.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	VII
LISTA DE SÍMBOLOS	XI
GLOSARIO	XIII
RESUMEN.....	XV
OBJETIVOS.....	XVII
Hipótesis.....	XVIII
INTRODUCCIÓN	XIX
1. ANTECEDENTES	1
2. MARCO TEÓRICO.....	5
2.1. Lípidos.....	5
2.1.1. Ceras	5
2.1.2. Esteroles.....	6
2.1.3. Fosfolípidos (fosfátidos).....	6
2.1.4. Glucolípidos (cerebósidos)	6
2.1.5. Aceites fijos y grasas	6
2.1.5.1. Ácidos grasos	7
2.2. Aceites fijos	9
2.2.1. Propiedades.....	9
2.2.2. Componentes	9
2.2.2.1. Oleína	10
2.2.2.2. Palmitina	10
2.2.2.3. Estearina.....	10
2.2.3. Clasificación.....	10

	2.2.3.1.	Secantes	10
	2.2.3.2.	No secantes	11
2.2.4.		Características analíticas	11
	2.2.4.1.	Índice de acidez o número ácido	11
	2.2.4.2.	Índice de peróxidos	12
	2.2.4.3.	Índice de saponificación	12
	2.2.4.4.	Índice de yodo	12
	2.2.4.5.	Cantidad de materia insaponificable	12
	2.2.4.6.	Presencia de gomas.....	12
	2.2.4.7.	Prueba de frío.....	13
	2.2.4.8.	Prueba de presencia de jabón.....	13
2.2.5.		Extracción de aceites	13
2.3.		Extracción sólido-líquido	14
	2.3.1.	Factores que influyen en la velocidad de extracción	14
	2.3.1.1.	Tamaño de partícula	15
	2.3.1.2.	El disolvente	15
	2.3.1.3.	La temperatura	15
	2.3.1.4.	Agitación.....	16
2.3.2.		Equipo de lixiviación	16
2.3.3.		Tipos de lixiviación	16
	2.3.3.1.	Percolación.....	17
	2.3.3.2.	Maceración simple o estática	17
	2.3.3.3.	Maceración dinámica	17
	2.3.3.4.	Lixiviación con unidad de extracción tipo Soxhlet.....	18
	2.3.3.5.	Aplicaciones	19
2.3.4.		Preparación del sólido.....	19
	2.3.4.1.	Lavado.....	20

	2.3.4.2.	Secado	20
	2.3.4.3.	Descascarado.....	20
	2.3.4.4.	Deshidratado	20
	2.3.4.5.	Molienda	21
2.4.		<i>Anacardium occidentale</i> L.	21
	2.4.1.	Etimología.....	21
	2.4.2.	Taxonomía.....	22
	2.4.3.	Historia	22
	2.4.4.	Clases.....	22
	2.4.5.	Descripción	23
		2.4.5.1. Porte y follaje	23
		2.4.5.2. Hojas y flores	23
		2.4.5.3. Pseudofruto	23
		2.4.5.4. Nuez	24
	2.4.6.	Hábitat en Guatemala.....	24
3.		MARCO METODOLÓGICO	27
	3.1.	Variables.....	27
		3.1.1. Variables independientes	27
		3.1.2. Variables dependientes	27
		3.1.3. Variables fijas	27
	3.2.	Delimitación del Campo de estudio	28
	3.3.	Recursos humanos disponibles.....	29
	3.4.	Recursos materiales disponibles	29
		3.4.1. Materia prima.....	29
		3.4.2. Equipo	29
		3.4.3. Cristalería	30
		3.4.4. Reactivos	30
	3.5.	Técnicas cuantitativas	31

3.5.1.	Porcentaje de humedad	31
3.5.2.	Tiempo óptimo de extracción	32
3.5.3.	Extracción por maceración dinámica con reflujo	32
3.5.4.	Extracción por método Soxhlet.....	33
3.5.5.	Porcentaje de rendimiento.....	33
3.5.6.	Caracterización fisicoquímica.....	34
3.5.6.1.	Densidad	34
3.5.6.2.	Índice de refracción	35
3.5.6.3.	Solubilidad.....	36
3.5.6.4.	Cromatografía de gases acoplado a espectrometría de masas (CG-MS).....	36
3.5.7.	Índices de calidad.....	37
3.5.7.1.	Índice de acidez basado en el método oficial AOCS Ca 5a - 40	37
3.5.7.2.	Índice de peróxidos basado en el método oficial AOCS Cd 8-53	39
3.5.7.3.	Índice de saponificación basado en el método oficial AOCS Cd 3-25.....	41
3.5.7.4.	Índice de yodo basado en el método oficial AOCS Cd 1-25, Método de Wijs	43
3.5.7.5.	Materia insaponificable basado en el método oficial AOCS Ca 6a -40	45
3.5.7.6.	Presencia de gomas basado en el método oficial AOCS	47
3.5.7.7.	Prueba del frío basado en el método oficial AOCS Cc 11-53.....	48

3.5.7.8.	Prueba de presencia de jabón en aceites basado en el método oficial AOCS Cc 17-79	49
3.6.	Recolección y ordenamiento de la información	50
3.7.	Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información	61
3.8.	Análisis estadístico	68
3.8.1.	Análisis de varianza Anova de un factor	68
3.8.1.1.	Distribución F	68
3.8.1.2.	Razón F para probar la igualdad de las medias.....	69
4.	RESULTADOS	73
4.1.	Rendimiento extractivo	73
4.2.	Caracterización fisicoquímica	73
4.2.1.	Densidad	74
4.3.	Solubilidad.....	74
4.4.	Índice de refracción	75
4.5.	Índices de calidad.....	75
5.	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	79
	CONCLUSIONES	85
	RECOMENDACIONES.....	87
	BIBLIOGRAFÍA.....	89
	APÉNDICES	91
	ANEXOS	97

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Equipo de extracción Soxhlet.....	19
2.	Anacardium occidentale L.....	21
3.	Semilla de marañón (Anacardium occidentale L.).....	24
4.	Áreas aptas para el cultivo de marañón en Guatemala	25
5.	Gráfica de absorbancia en función del tiempo de extracción para la determinación del tiempo óptimo de extracción utilizando como solvente extractivo acetato de etilo	52
6.	Gráfica de absorbancia en función del tiempo de extracción para la determinación del tiempo óptimo de extracción utilizando como solvente extractivo alcohol isopropílico	53
7.	Gráfica de absorbancia en función del tiempo de extracción para la determinación del tiempo óptimo de extracción utilizando hexano como solvente extractivo.....	54

TABLAS

I.	Ácidos grasos más comunes	8
II.	Cantidad de muestra para determinación del índice de yodo	43
III.	Porcentaje de humedad materia prima sin deshidratar	51
IV.	Pesos de materia prima durante deshidratación	51
V.	Determinación del tiempo óptimo de extracción del aceite de la nuez de marañón utilizando como solvente extractivo acetato de etilo.....	51

VI.	Determinación del tiempo óptimo de extracción del aceite de la nuez de marañón utilizando como solvente extractivo alcohol isopropílico.....	52
VII.	Determinación tiempo óptimo de extracción utilizando como solvente extractivo hexano	53
VIII.	Datos experimentales para rendimiento extractivo de aceite fijo por el método de maceración dinámica con reflujo.....	55
IX.	Datos experimentales para la determinación de la densidad.....	55
X.	Prueba de solubilidad	56
XI.	Índice de refracción.....	56
XII.	Datos experimentales para la determinación del índice de acidez	57
XIII.	Datos experimentales para la determinación del índice de saponificación	57
XIV.	Datos experimentales para la determinación de la cantidad de gomas.....	58
XV.	Datos experimentales para la determinación del índice de peróxidos	58
XVI.	Datos experimentales para la determinación de la presencia de jabones	58
XVII.	Determinación prueba en frío	59
XVIII.	Datos experimentales para la determinación de índice de yodo.....	59
XIX.	Composición química aceite fijo de semilla de marañón obtenido por el método de maceración dinámica con acetato de etilo	59
XX.	Composición química aceite fijo de semilla de marañón obtenido por el método de maceración dinámica con hexano.....	60
XXI.	Composición química aceite fijo de semilla de marañón obtenido por el método de maceración dinámica con alcohol isopropílico	60
XXII.	Porcentaje de humedad materia prima deshidratada	61
XXIII.	Tiempo óptimo de extracción.....	61

XXIV.	Determinación rendimiento extractivo de aceite fijo por el método de maceración dinámica con reflujo	62
XXV.	Determinación de la densidad.....	63
XXVI.	Determinación del índice de refracción	63
XXVII.	Determinación índice de acidez	64
XXVIII.	Determinación del índice de saponificación	64
XXIX.	Determinación presencia de gomas.....	64
XXX.	Determinación índice de peróxidos	65
XXXI.	Datos experimentales para la determinación de la presencia de jabones.....	65
XXXII.	Determinación prueba en frío.....	65
XXXIII.	Datos experimentales para la determinación de índice de yodo	66
XXXIV.	Clasificación de componentes químicos aceite fijo de semilla de marañón obtenido por el método de maceración dinámica con acetato de etilo.....	66
XXXV.	Clasificación de componentes químicos aceite fijo de semilla de marañón obtenido por el método de maceración dinámica con hexano	67
XXXVI.	Clasificación de componentes químicos aceite fijo de semilla de marañón obtenido por el método de maceración dinámica con alcohol isopropílico.....	67
XXXVII.	Datos utilizados para el análisis estadístico de porcentaje de rendimiento de aceite fijo de la semilla de marañón en función del solvente utilizado.....	70
XXXVIII.	Análisis de varianza de porcentaje de rendimiento de aceite fijo de la semilla de marañón en función del solvente utilizado.....	70
XXXIX.	Datos utilizados para el análisis estadístico para perfil de ácidos grasos del aceite fijo de la semilla de marañón en función del solvente utilizado.....	71

XL.	Análisis de varianza de porcentaje de perfil de ácidos grasos del aceite fijo de la semilla de marañón en función del solvente utilizado.....	71
XLI.	Rendimiento de extracción de aceite fijo de marañón	73
XLII.	Densidad aceite fijo de marañón a temperatura ambiente.....	74
XLIII.	Solubilidad del aceite fijo de marañón obtenido por 3 diferentes solventes en agua, etanol y cloroformo a temperatura ambiente	74
XLIV.	Índice de refracción a temperatura ambiente del aceite fijo de marañón obtenido por 3 diferentes solventes	75
XLV.	Índices de calidad aceite fijo de marañón	76
XLVI.	Perfil de ácidos grasos aceite fijo de semilla de marañón obtenido por el método de maceración dinámica con acetato de etilo	76
XLVII.	Clasificación de componentes químicos aceite fijo de semilla de marañón obtenido por el método de maceración dinámica con hexano	77
XLVIII.	Clasificación de componentes químicos aceite fijo de semilla de marañón obtenido por el método de maceración dinámica con alcohol isopropílico	77

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
HCl	Ácido clorhídrico
cg	Centigramo
ρ	Densidad
$^{\circ}\text{C}$	Grados centígrados
g	Gramo
KOH	Hidróxido de sodio
kg	Kilogramo
L	Litro
m	Masa
meq O_2	Miliequivalentes de oxígeno
mL	Mililitro
min	Minuto
M	Molaridad
N	Normal (equivalentes de soluto por litros de solución)
eq	Número de equivalentes de soluto
NaOH	Hidróxido de potasio
ppm	Partes por millón
w	Peso
pm	Peso muestra
%	Porcentaje
s	Segundo
V	Volumen
V/V	Volumen por volumen

I

Yodo

KI

Yoduro de potasio

GLOSARIO

AOCS	American Oil Chemist's Society.
Caracterización fisicoquímica	Determinar los atributos peculiares físicos y químicos de algo que se distinguen de los demás.
CAS	Chemical Abstract Number.
Cromatografía	Método físico de separación para la caracterización de mezclas complejas.
Equipo Soxhlet	Cristalería de laboratorio utilizada para la extracción de compuestos, generalmente de naturaleza lipídica, contenidos en un sólido utilizando un solvente.
Extracción	Procedimiento de separación de una sustancia que puede disolverse en dos disolventes no miscibles entre sí, con distinto grado de solubilidad y que están en contacto a través de una interface.
Índice de calidad	Parámetro de una característica para determinar el grado de aceptación que debe apreciar el consumidor.
Indicasat	Instituto de Investigación de la Universidad del Saber.

LIEXVE	Laboratorio Investigación de Extractos Vegetales.
Lixiviación	Extracción de la materia soluble de una mezcla mediante la acción de un disolvente líquido.
Maceración	Proceso de extracción sólido-líquido en donde se ponen en contacto la materia prima y el solvente.
MAGA	Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación.
Materia prima	Sustancia natural o artificial que se transforma industrialmente para crear un producto.
Rendimiento extractivo	Cantidad de aceite obtenido en relación a la cantidad de materia prima utilizada.
Rotavapor	Aparato de destilación rotatorio asociado a un baño maría utilizado principalmente para separar por medio de evaporación a presión reducida y suave, el solvente que acompaña al soluto de interés.
SIG	Sistema de información geográfica.

RESUMEN

La investigación consistió en la evaluación del rendimiento extractivo y las características fisicoquímicas del aceite fijo de la semilla de marañón *Anacardium occidentale L.*, obtenido por el método de lixiviación maceración dinámica con reflujo utilizando hexano, alcohol isopropílico y acetato de etilo a escala laboratorio.

La nuez de marañón se extrajo de la semilla y se procedió a realizar la preparación de la materia prima la cual consistió en deshidratarla hasta un porcentaje de humedad entre 5-6 % en un secador de bandejas. Posteriormente se redujo el tamaño de la materia prima con un mortero y un pistilo y por último, se tamizó para obtener un tamaño de partícula uniforme.

Utilizando el método de lixiviación sólido-líquido, maceración dinámica con reflujo, se realizaron 5 tratamientos con cada uno de los solventes y como método de referencia, se realizó una extracción por solvente por el método de Soxhlet resultando un total de 18 extracciones. Se llegó a la conclusión que el solvente utilizado sí afecta en el rendimiento extractivo del aceite fijo de marañón *Anacardium occidentale L.*, el solvente que presentó mejor rendimiento extractivo es el hexano, tanto en el método de Soxhlet como en el de maceración dinámica con reflujo.

Por medio de la caracterización fisicoquímica y el análisis estadístico, se concluye que las propiedades físicas y el perfil de ácidos grasos no difieren significativamente según el solvente utilizado.

OBJETIVOS

General

Evaluar del rendimiento extractivo e índices de calidad del aceite fijo de la nuez de marañón (*Anacardium occidentale* L.), obtenido por el método de lixiviación maceración dinámica con reflujo utilizando tres solventes a escala laboratorio, y realizar la caracterización fisicoquímica.

Específicos

1. Determinar el porcentaje de rendimiento en la extracción por maceración dinámica con reflujo para la nuez de marañón (*Anacardium occidentale* L.), en función de la capacidad extractora de tres solventes y realizar la comparación con la extracción Soxhlet.
2. Determinar las propiedades físicas: densidad, índice de refracción y solubilidad del aceite extraído de la nuez de marañón (*Anacardium occidentale* L.).
3. Determinar los índices de calidad de aceites según los métodos de la Asociación de Químicos de Aceite (AOCS).
4. Determinar el perfil de ácidos grasos del aceite fijo de la nuez de marañón (*Anacardium occidentale* L.), extraído por el método de maceración dinámica por medio de cromatografía gaseosa.

5. Determinar si el porcentaje de rendimiento de la extracción de aceite fijo de la semilla de la nuez de marañón (*Anacardium occidentale* L.) está influenciado por el solvente utilizado.

Hipótesis

El porcentaje de rendimiento de la extracción de aceite fijo de la semilla de la nuez de marañón (*Anacardium occidentale* L.) está influenciado por el solvente utilizado.

Hipótesis nula:

H_{o1} : el solvente utilizado no afecta el rendimiento de la extracción de aceite fijo de la semilla de la nuez de marañón (*Anacardium occidentale* L.).

H_{o2} : no existe diferencia significativa en el perfil de ácidos grasos del aceite de la semilla de la nuez de marañón (*Anacardium occidentale* L.) según el solvente utilizado.

Hipótesis alternativa:

H_{a1} : el solvente utilizado afecta el rendimiento de la extracción de aceite fijo de la semilla de la nuez de marañón (*Anacardium occidentale* L.).

H_{a2} : si existe diferencia significativa en el perfil de ácidos grasos del aceite de la semilla de la nuez de marañón (*Anacardium occidentale* L.) según el solvente utilizado.

INTRODUCCIÓN

Las plantas contienen numerosos compuestos químicos como azúcares, sales inorgánicas, proteínas, celulosa, clorofila y lignina. Asimismo, también contienen aceites: aceites fijos y aceites volátiles.

Los aceites fijos son ésteres de glicerol y ácidos grasos de alto peso molecular de cadena larga alifática; especialmente ácido palmítico, esteárico y oleico. A temperatura ambiente suelen ser líquidos. Se encuentran generalmente en las semillas y en los frutos y pueden ser extraídos mediante métodos mecánicos o métodos químicos.

El marañón (*Anacardium occidentale* L.) es un fruto proveniente del noreste de Brasil. Está compuesto de dos partes: el seudofruto y la nuez, la cual contiene la semilla de marañón. El seudofruto es de color amarillo o rojizo cuando madura y es utilizado para la fabricación de jugos, dulces, mermeladas vinos, entre otros. Sin embargo, la semilla tiene una mayor demanda en el mercado a nivel mundial por sus propiedades nutricionales, debido a que es muy utilizada en la repostería y asimismo, es muy recomendada en la dieta alimentaria.

El cultivo de marañón en Guatemala se conoce y cultiva desde hace años, sin embargo, no ha sido explotado. Con el fin de diversificar la producción del sector agrícola del país, las autoridades del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación comenzaron un proyecto denominado “Fomento del cultivo de marañón en Guatemala”. El proyecto no tuvo éxito debido a que fue cultivado en zonas inadecuadas que no cumplían con el clima necesario para su cultivo.

Actualmente se está fomentando nuevamente su producción con una orientación hacia el aprovechamiento de la semilla para fines industriales y de exportación, ya que es lo que actualmente representa el mayor valor agregado de la producción.

La semilla de marañón contiene un aceite de color amarillo brillante, el cual es el objeto de este estudio; en donde se evaluará el rendimiento de extracción y se le realizará la caracterización fisicoquímica para conocer sus propiedades, características, composición y su calidad.

1. ANTECEDENTES

A principios de 2008, Hermann Gnaegi, presidente y gerente general de Panafrut, y científicos de la Universidad de Panamá, la Universidad Tecnológica y con el Instituto de Investigación de la Universidad del Saber (Indicasat); realizaron un estudio del aceite de la semilla de marañón como un anticorrosivo. Hermann Gnaegi buscaba desarrollar la extracción de manera científica, luego de visitar países como Brasil y Guatemala donde ya lo realizaban de manera rústica.

A principios de 2010, unos estudiantes de la Facultad de Ciencias Básicas e Ingeniería de la Universidad de Córdoba, Colombia, realizaron una investigación denominada *Extracción y caracterización fisicoquímica del aceite de la semilla (almendra) del marañón (Anacardium occidentale L.)*. La investigación consistió en el estudio de dos tipos de extracción: expresión y extracción con solventes y la caracterización de sus propiedades fisicoquímicas. La extracción con solventes se realizó con los métodos de inmersión e inmersión percolación, utilizando 3 diferentes solventes (n-hexano, éter y acetato de etilo). Se llegó a la conclusión que el método que presentó mejor rendimiento para la extracción del aceite de la almendra de *Anacardium occidentale L.*, es el de Soxhlet utilizando como solvente el hexano. Los aceites obtenidos por prensado y Soxhlet poseen buenas características organolépticas y excelentes propiedades fisicoquímicas, que cumple con las normas internacionales para aceites utilizados en la industria de jabones y cosméticos.

En 2012, estudiantes de la carrera de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de Colombia realizaron una propuesta de utilizar el aceite

extraído de la semilla de marañón como un anticorrosivo natural. La extracción del aceite contenida en el fruto se realizó mediante el método de prensado y el resto que contiene la semilla, por medio de destilación. Se determinó su propiedad anticorrosiva al depositar placas de hierro recubiertas con el aceite y una sin aceite en una cámara salina por tres días. Finalmente, después de limpiar las placas, las que estaban recubiertas con el aceite no estaban oxidadas y la que no contenía aceite estaba completamente oxidada.

Durante los últimos años se han realizado estudios sobre aceites fijos en la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala. Los estudios consisten en la evaluación del rendimiento de la extracción y caracterización fisicoquímica de los aceites, la cual incluye la determinación de la calidad de los aceites por medio de los índices de calidad de aceites fijos brindados por la American Oil Chemist's Society (AOCS).

Entre estos estudios se puede mencionar el trabajo de graduación de Glenda Rocío Luna Zuñiga denominado: *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*. La extracción se realizó en un tornillo prensa, pasando la torta de la semilla dos veces, el aceite fue filtrado con celite, sin someterse a ningún proceso de refinación. Se logró determinar constantes fisicoquímicas como densidad, viscosidad, punto de ebullición, índice de refracción y solubilidad en distintos solventes.

Asimismo, los índices de calidad que se obtuvieron para tales muestras fueron: índice de yodo, índice de acidez, índice de saponificación, índice de peróxidos, índice de Dobi, índice de Totox, materia insaponificable, porcentaje de ceras, porcentaje de gomas, prueba en frío, porcentaje de jabón, porcentaje

de fósforo, porcentaje fosfolípidos, y prueba de p-anisidina. El porcentaje de extracción fue de 19,3125 % para el aceite de morro proveniente de El Progreso y de 28,126 % para el aceite de morro proveniente de Zacapa.

En 2008, Lourdes María Ramírez Ovalle realizó un estudio denominado *Evaluación del rendimiento de extracción y caracterización del aceite fijo de café tostado tipo genuino Antigua obtenido por el proceso de prensado*. La extracción se llevó a cabo mediante prensado con un tratamiento por extrusión hasta una presión de 125 psi, a un flujo de 1 Lb/min, temperatura de la torta a 108 °C y temperatura del aceite extraído a 80 °C. Se utilizó dos tipos de tueste en el café: tueste oscuro y tueste liviano, en donde se determinó una diferencia de rendimiento de 1,03 %, mientras que por el método de Soxhlet hubo una diferencia de 2,87 % en el rendimiento extractivo de los dos tipos de tueste.

Al aceite extraído se le determinó propiedades sensoriales como: olor, sabor, aspecto y color; propiedades físicas como: densidad, índice de refracción, pH, color, solubilidad, viscosidad, humedad, punto de fusión y prueba en frío. Además se determinó el perfil de ácidos grasos en donde se obtuvo que el aceite está compuesto en un 46,48 % de saturados, 7,63 % monoinsaturados y 45,89 % de poliinsaturados.

En 2013, Evelyn Figueroa realizó su estudio de graduación denominado: *Evaluación del rendimiento y caracterización fisicoquímica de la extracción de la fracción lipídica de la copra del coco (Cocos nucifera L.) variedad verde utilizando tres solventes a escala laboratorio*. La extracción se llevó a cabo por el método de maceración dinámica con reflujo a la temperatura de ebullición del solvente con tres diferentes solventes: hexano, acetato de etilo y alcohol isopropílico. Fue posible determinar que el solvente que presentó mayor rendimiento extractivo fue el hexano con un 36,03 % por el método Soxhlet y

un 29,07 % por el método de maceración dinámica con reflujo. Asimismo, al aceite extraído, se le realizó la caracterización fisicoquímica de la fracción lipídica evaluando su solubilidad, densidad, punto de fusión e índice de refracción. También se determinó el perfil de ácidos grasos mediante cromatografía gaseosa empleando un detector de ionización, en donde se obtuvo que los ácidos grasos que constituyen el 80 % de la fracción lipídica son el ácido láurico, el ácido mirístico, el ácido palmítico y el ácido caprílico.

En octubre de 2013, miembros de la organización hondureña Productos del Marañón Litoral Pacífico (Promalipa), decidieron adquirir una maquinaria para desarrollar un proyecto de extracción y comercialización de aceite de la cáscara de marañón como un anticorrosivo.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Lípidos

Los lípidos son sustancias grasas que forman el cuarto grupo principal de moléculas presentes en todas las células. Llevan a cabo tres funciones biológicas:

- Las bicapas lipídicas son componentes esenciales de las membranas biológicas.
- Sirven de depósitos de energía.
- Están involucrados en acontecimientos de señalización intracelular e intercelular.

Por su estructura química se pueden clasificar en cinco clases.

2.1.1. Ceras

Son ésteres de alcoholes monohidratados y ácidos grasos de alto peso molecular. Se caracterizan por ser altamente hidrofóbicas y son de origen animal, vegetal y también sintético. Como ejemplos se puede encontrar la cera de abeja, el esperma de la ballena, la cera que recubre las hojas de las plantas, entre otros.

2.1.2. Esteroles

Son alcoholes que contienen el núcleo ciclopentanofenantreno. El más importante en los animales es el colesterol, mientras que en las plantas y en los microorganismos es el ergosterol.

2.1.3. Fosfolípidos (fosfátidos)

Son ésteres que contienen glicerol combinado con ácidos grasos, ácido fosfórico y ciertos compuestos nitrogenados. Aparecen casi exclusivamente en las membranas celulares. Las más importantes desde el punto de vista farmacéutico son las lecitinas.

2.1.4. Glucolípidos (cerebósidos)

Son sustancias aisladas del encéfalo y de diversas otras fuentes, que por hidólisis dan ácidos grasos, galactosa y el compuesto nitrogenado esfingosina. Entre los más importantes se encuentran la galactosa, la manosa, la fructosa, la glucosam el ácido siálico, entre otros.

2.1.5. Aceites fijos y grasas

Son mezclas de ésteres de glicerilo de los denominados ácidos grasos superiores, es decir, los ácidos alifáticos de alto peso molecular, sobre todo los ácidos palmítico, esteárico y oleico.

2.1.5.1. Ácidos grasos

Los ácidos grasos naturales son ácidos carboxílicos con cadenas hidrocarbonadas largas (de 4 a 26 átomos de carbono) no ramificadas. Se encuentran en todos los organismos como constituyentes de las grasas y como lípidos de membrana, en forma esterificada. La mayoría de los ácidos grasos poseen un número par de átomos de carbono. Los ácidos grasos de 16 y 18 carbonos son los predominantes en las plantas y animales. Los ácidos grasos con <14 o >20 átomos de carbono son pocos comunes.

Por su grado de saturación se pueden clasificar en:

- Ácidos grasos saturados

Son moléculas que están totalmente reducidas con hidrógeno, es decir, sin dobles enlaces entre carbonos. Tienden a formar cadenas extendidas y a ser sólidos a temperatura ambiente, excepto los de cadena corta.

- Ácidos grasos insaturados

Son moléculas que contienen dobles enlaces entre carbonos y suelen ser líquidos a temperatura ambiente.

- Ácidos grasos monoinsaturados

Son ácidos grasos insaturados con un solo doble enlace.

- Ácidos grasos poliinsaturados

Son ácidos grasos insaturados con dos o más dobles enlaces.

A continuación se presenta una tabla en donde se encuentran los ácidos grasos más comunes.

Tabla I. **Ácidos grasos más comunes**

Símbolo	Nombre común	Nombre Sistemático	Estructura
Insaturados			
12:0	Ácido láurico	Ácido dodecanoico	$CH_3(CH_2)_{10}COOH$
16:0	Ácido palmítico	Ácido hexadecanoico	$CH_3(CH_2)_{12}COOH$
18:0	Ácido esteárico	Ácido octadecanoico	$CH_3(CH_2)_{14}COOH$
Monoinsaturados			
16:1n-7	Ácido palmitoleico	Ácido 9-hexadecenoico	$CH_3(CH_2)_5CH = CH(CH_2)_7COOH$
18:1n-9	Ácido oleico	Ácido 9-octadecenoico	$CH_3(CH_2)_7CH = CH(CH_2)_7COOH$
Poliinsaturados			
LA, 18:3n6	Ácido linoleico	Ácido 9,12-octadecadienoico	$CH_3(CH_2)_4(CH = CH)_2(CH_2)_6COOH$
ALA, 18:3n3	Ácido α -linolénico	Ácido 9,12,15-octadecadienoico	$CH_3CH_3(CH = CH)_3(CH_2)_6COOH$
EPA, 20:5n3	Ácido eicosapentanoico	Ácido 5,8,11,14-ecosapentaenoico	$CH_3CH_3(CH = CH)_5(CH_2)_2COOH$

Fuente: AOCS Cd 3-25. *Official method saponification value, sampling and analysis of commercial fats and oils*. p. 234 y 235.

2.2. Aceites fijos

Los aceites fijos sólidos a temperatura ambiente se suelen denominar grasas. Esta diferencia de consistencia se debe a las proporciones relativas de ésteres de glicerilo líquidos y sólidos existentes. Los aceites fijos contienen una proporción relativamente elevada de glicéridos líquidos (poliinsaturados), como oleato de glicerilo, mientras que las grasas son bastante ricas en glicéridos sólidos (sobre todo saturados), como el estearato de glicerilo.

2.2.1. Propiedades

- Son grasos al tacto y aceitosos.
- Menos densos que el agua e insolubles en la misma.
- Solubles en éter, cloroformo y algunos solventes no miscibles con agua.
- Al ser purificados son casi incoloros y tienen olor y sabor agradables.
- Se tornan menos viscosos ante el calor moderado mientras que con calor fuerte se descomponen.
- Tienden a hidrolizarse para dar glicerol y los ácidos grasos representativos de la grasa o el aceite. Al utilizar álcalis como catalizador para acelerar esta reacción, la hidrólisis de grasas y aceites fijos se denomina saponificación.

2.2.2. Componentes

En muchos aceites fijos son comunes tres glicéridos: oleína, paltimina y estearina.

2.2.2.1. Oleína

Es el trioleato de glicerilo [$C_3H_5(C_{18}H_{33}O_2)_3$], un líquido a temperatura ambiente. Es el componente principal del aceite de almendras obtenido por presión, la grasa de cerdo y gran parte de las grasas animales y los aceites de origen vegetal.

2.2.2.2. Palmitina

La palmitina es el tripalmitato de glicerilo [$C_3H_5(C_{16}H_{31}O_2)_3$]. Este compuesto es sólido a temperatura ambiente, con un punto de fusión de 60 °C y predomina en los aceites de palma y de coco.

2.2.2.3. Estearina

Es el triestearato de glicerilo [$C_3H_5(C_{18}H_{35}O_2)_3$]. Este compuesto funde a 71 °C, predomina en muchas de las grasas sólidas, y se puede separar por presión bajo condiciones de temperatura controladas, mediante las que se extrae la oleína y la palmitina.

2.2.3. Clasificación

Los aceites fijos se clasifican en secantes y no secantes.

2.2.3.1. Secantes

Al exponerse al aire sufren oxidación formándose una película dura y resistente, lo cual se debe a la presencia de ácidos grasos insaturados definidos como por ejemplo los ácidos linoleico y linolénico. La mezcla de estos

aceites con pigmentos insolubles, se usan como pinturas. A diferencia de los barnices, son mezclas de aceites secantes con resinas. Un ejemplo es el aceite de lino, utilizado en la industria de pinturas y barnices.

2.2.3.2. No secantes

Los aceites no secantes expuestos al aire siguen siendo pegajosos al tacto por tiempo indefinido debido a que no sufren oxidación con el aire. El aceite de oliva y el aceite de almendras, son ejemplos de aceites no secantes.

2.2.4. Características analíticas

Existen ciertos factores analíticos para identificar aceites fijos y juzgar su calidad. Entre estos se pueden mencionar el índice de yodo, índice de saponificación, índice de acidez, índice de peróxidos, cantidad de materia insaponificable, cantidad de gomas, prueba de frío. Estas características pueden ser identificadas mediante el método oficial de la Sociedad Americana de Químicos de Aceites por sus siglas en inglés American Oil Chemist's Society (AOCS).

2.2.4.1. Índice de acidez o número ácido

Evalúa la presencia de ácidos grasos libres presentes. Se define como la cantidad en miligramos de hidróxido de potasio necesarios para neutralizar los ácidos grasos libres en un gramo de aceite.

2.2.4.2. Índice de peróxidos

Determina el estado de oxidación de un lípido, dando la idea de estabilidad del grado de enranciamiento de los aceites. Se expresa en miliequivalentes de peróxido por 1 kg de muestra.

2.2.4.3. Índice de saponificación

Se define como la cantidad de miligramos de hidróxido de potasio requeridos para neutralizar los ácidos libres y saponificar los ésteres de un gramo de muestra.

2.2.4.4. Índice de yodo

Indica el grado de saturación de los ácidos grasos, es decir, la proporción de dobles enlaces. Se define como la cantidad de gramos de monoclورو de yodo, expresados como yodo, absorbido por 100 gramos de muestra, en condiciones definidas. Cuanto mayor sea el contenido de ácidos grasos no saturados en la muestra, mayor es su índice de yodo.

2.2.4.5. Cantidad de materia insaponificable

Evalúa la cantidad de materia que se encuentra en el aceite que no puede ser saponificada, es decir que no puede usarse para obtener jabón.

2.2.4.6. Presencia de gomas

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 separarlos por centrifugación.

Los aceites deben ser desgomados para ser purificados y aumentar la vida de almacenamiento del producto.

2.2.4.7. Prueba de frío

Determina la resistencia de la muestra a la cristalización y determina la facilidad para separar la estearina de la oleína en un proceso de winterización. Se define como la temperatura mínima a la cual el aceite se encuentra en estado líquido.

2.2.4.8. Prueba de presencia de jabón

Determina la alcalinidad de la muestra como oleato de sodio. Se define como la cantidad medida en ppm de oleato de sodio presente en el aceite o grasa.

2.2.5. Extracción de aceites

Las sustancias a partir de las cuales se producen los aceites son semillas o frutos. La extracción de los aceites se puede realizar de forma mecánica o química. Por el método mecánico los frutos y frutas son sometidos a un proceso de prensado al cual se le conoce como expresión.

El método químico utiliza disolventes químicos mediante un proceso de transferencia de masa o simplemente un desplazamiento, como en el lavado simple.

2.3. Extracción sólido-líquido

También conocida como lixiviación, es la eliminación de una fracción soluble, en forma de solución, a partir de una fase sólida permeable e insoluble a la cual está asociada. La separación implica, normalmente, la disolución selectiva, con difusión o sin ella, pero en el caso extremo de lavado simple consiste solo en el desplazamiento de un líquido intersticial por otro, con el que es miscible. El mecanismo de la lixiviación puede incluir una solución física simple o la disolución facilitada por una reacción química.

El constituyente soluble puede ser sólido o líquido y estar incorporado, combinado químicamente o adsorbido, o bien mantenido mecánicamente, en la estructura porosa del material insoluble.

El sólido insoluble puede ser másico y poroso; con mayor frecuencia es de partículas y estas últimas pueden ser poros abiertos, de celdas, con paredes celulares selectivamente permeables o con superficies activadas.

La corriente de sólidos lixiviados y el líquido que la acompaña se denominan lodos. El contenido en sólidos de las corrientes es denominado, en algunas ocasiones, como marc (en particular en los procesos de separación de aceites). La corriente de líquido contenido en la solución lixiviada es el clarificado.

2.3.1. Factores que influyen en la velocidad de extracción

La selección del equipo para un proceso extractivo está influenciada por los factores responsables de la limitación de la velocidad de extracciones, de los cuales hay cuatro importantes a considerar.

2.3.1.1. Tamaño de partícula

El tamaño de las partículas afecta la velocidad de extracción de diferentes maneras. Entre más pequeño es el tamaño de la partícula, mejor será el área de contacto y menor es la distancia que debe recorrer el soluto por el interior del sólido, elevando así la velocidad de transferencia de masa. Por el otro lado, cuando el material es muy fino, la superficie puede no ser utilizada de una forma totalmente eficaz si se dificulta la circulación del líquido y es más difícil la separación de sólidos. Estas características determinan el tamaño óptimo de partículas, en donde se recomienda que cada partícula sea pequeña, de forma que requieran el mismo tiempo de extracción; y en particular, debe evitarse el material fino ya que este puede alojarse en los intersticios de las partículas mayores impidiendo así el flujo del disolvente.

2.3.1.2. El disolvente

Debe ser un buen disolvente selectivo, con una viscosidad suficientemente baja para que pueda circular con facilidad. La concentración del solvente es importante para soluciones acuosas, debido a la saturación y a la existencia de reacciones químicas. En la producción de aceites vegetales, se emplean disolventes orgánicos como hexano, acetona y éter.

2.3.1.3. La temperatura

En la mayor parte de los casos, la solubilidad del material que se está extrayendo aumentará con la temperatura ocasionando una mayor velocidad de extracción. Adicionalmente, el coeficiente de difusión aumenta al elevarse la temperatura mejorándose también así dicha velocidad. La temperatura máxima

está limitada por el punto de ebullición del solvente, el punto de degradación del producto o del solvente, solubilidad de impurezas y por economía.

2.3.1.4. Agitación

Da una mayor eficiencia en la extracción debido a que disminuye la película de fluido que cubre la superficie del sólido en reposo y que actúa como una resistencia a la difusión. Adicionalmente evita la sedimentación.

2.3.2. Equipo de lixiviación

- Los equipos de lixiviación se distinguen por:
- Ciclo de operación:
- Intermitente (*batch*), continuo o intermitente de cargas múltiples.
- Dirección de las diferentes corrientes.
- Concurrente, a contracorriente o flujo híbrido.
- Número de etapas.
- Una única etapa, etapas múltiples o etapa diferencial.
- Método de contacto.
- Percolación por pulverización, percolación por inmersión o dispersión de sólidos.

2.3.3. Tipos de lixiviación

A continuación se encuentran los tipos de lixiviación y una síntesis sobre en qué consisten cada uno de ellos.

2.3.3.1. Percolación

Consiste en hacer pasar el solvente a través de la materia prima, hasta su extracción exhaustiva completa. La percolación simple, comprende la extracción exhaustiva de la materia prima con el solvente siempre renovado.

Comprende una etapa preliminar de humedecimiento de la materia prima, fuera del cuerpo del percolador. Este procedimiento tiene el objetivo de aumentar el contacto, facilitando el paso del solvente y no permitiendo la formación de falsas vías, que perjudican la eficiencia del proceso.

2.3.3.2. Maceración simple o estática

El proceso de maceración consiste en poner en contacto la materia prima y el solvente, durante cierto tiempo. Se trata de un proceso que da como resultado un equilibrio de concentración entre la materia prima y el solvente. Depende tanto de la naturaleza, tamaño de partícula, humedad y cantidad de materia prima, como de la selectividad y cantidad del solvente. El rendimiento del extracto disminuye cuando la relación sólido/solvente aumenta. Es importante resaltar que es un proceso sumamente lento. Puede ejecutarse a una temperatura ambiente o a temperaturas más elevadas.

2.3.3.3. Maceración dinámica

El proceso de maceración dinámica consiste en poner en contacto la materia prima y el solvente, durante cierto tiempo y deben mantenerse en movimiento constante. Al igual que la maceración estática, puede ejecutarse a una temperatura ambiente o a temperaturas más elevadas. Con el fin de recuperar el solvente evaporado es posible colocar un sistema de

condensación, para que el solvente evaporador recircule, procedimiento que recibe el nombre de maceración dinámica con reflujo.

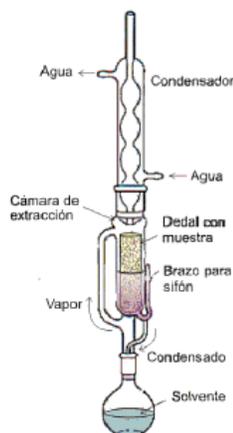
2.3.3.4. Lixiviación con unidad de extracción tipo Soxhlet

Este es un método de extracción sólido-líquido que hace uso del extractor Soxhlet el cual realiza un proceso de extracción continuo. Este extractor consta de cuatro partes o unidades principales, siendo estas: condensador, unidad de extracción, matraz y dedal; adicionalmente se necesitan mangueras y plancha de calentamiento.

Para realizar una extracción Soxhlet se coloca una cantidad de materia prima seca en el dedal de celulosa, seguidamente se deposita en la unidad de extracción y se adapta al matraz que contiene el solvente que separará las fracciones solubles, cuando este solvente llegue a su punto de ebullición, formará vapor que ascenderá por la pared interna del extractor.

En la parte superior de la unidad de extracción, se conecta el condensador, con su respectiva entrada y salida de agua, cuyo flujo será en contracorriente. Esta parte del extractor Soxhlet permitirá que el vapor que sube por la pared de la unidad de extracción cambie de fase, logrando con esto que regrese a la muestra en forma de gota. El dedal deberá llenarse con el solvente que ha sido condensado hasta que alcance la altura del sifón en el extractor, luego será devuelto al matraz para empezar nuevamente el ciclo de extracción.

Figura 1. **Equipo de extracción Soxhlet**



Fuente: AOCS Cd 1-25. *Official method iodine value of fats and oils Wijs Method, sampling and analysis of commercial fats and oils.* p. 71.

2.3.3.5. Aplicaciones

La lixiviación tiene aplicaciones en varias industrias. Por ejemplo en la industria de procesos biológicos y alimenticios, muchos productos se separan de su estructura natural original por medio de una lixiviación. En la producción de azúcar de remolacha, producción de aceites vegetales, industria farmacéutica por lixiviación de raíces, hojas y tallos de plantas, entre otras.

2.3.4. Preparación del sólido

A continuación se enumeran y detallan los pasos a seguir para la preparación del sólido.

2.3.4.1. Lavado

Consiste en el lavado vigoroso de la materia prima con detergente y luego enjuagado con el fin de remover los restos no deseables, como para la remoción de tierra, suciedad o contaminante que pudo haberse adherido.

2.3.4.2. Secado

El secado tiene como función principal la remoción de agua de la cáscara, lo cual en el caso de la semilla de marañón, ayudará para la remoción de la cáscara. Es posible utilizar una marmita con vapor de contacto directo, durante un tiempo aproximado de 2 horas.

2.3.4.3. Descascarado

El descascarado o pelado se realiza con alguna herramienta que ayude a partir el fruto a la mitad y luego se procede a extraer la semilla. Es de vital importancia utilizar guantes para remover la cáscara, debido a que esta contiene un aceite altamente corrosivo.

2.3.4.4. Deshidratado

Consiste en remover agua de la materia prima. Debido a que se extrae agua del sólido, esto le da mayor tiempo de almacenamiento a la materia prima. El secado se puede realizar mediante un secador o al aire libre. El deshidratado de la materia prima fue realizado mediante un secador de bandejas a una temperatura de 50 °C hasta obtener un porcentaje de humedad entre 5 y 6 %.

2.3.4.5. Molienda

Tiene como objetivo la reducción del tamaño de la partícula para que exista un mejor contacto entre el disolvente y el sólido. Es importante considerar las características del tamaño de partícula anteriormente mencionadas con el fin de hacer el proceso de extracción más eficiente.

2.4. *Anacardium occidentale* L.

Conocido también como: marañón, anacardo, cajú o merey, es un cultivo originario del noreste de Brasil con excelentes propiedades medicinales y nutricionales.

Figura 2. ***Anacardium occidentale* L.**



Fuente: VOET, Donald; et. al. *Fundamentos de bioquímica*. p. 120.

2.4.1. Etimología

Anacardium: nombre genérico que deriva de la palabra procedente del griego kardía = corazón, por la forma de su fruto.

Occidentale: epíteto latino que significa "de occidente".

2.4.2. Taxonomía

- Nombre científico: *Anacardium occidentale* L.
- Reino: Plantae
- División: Magnoliophyta
- Clase: Magnoliopsida
- Orden: Sapindales
- Familia: Anacardiaceae
- Género: *Anacardium*
- Especie: *Anacardium occidentale* L.

2.4.3. Historia

A mediados del siglo XVI, a la llegada de los europeos a América, ya era cultivado muy primitivamente en el noreste de Brasil. Su cultivo se expandió después por el norte de América del Sur, Antillas y América Central, y los portugueses lo llevaron a África Occidental e India. Se cree que a Filipinas llegó posiblemente de México.

En la India, Mozambique y Angola es donde se ha desarrollado su cultivo e industrialización, ya que son los principales exportadores de nueces y aceites de marañón.

2.4.4. Clases

Existen dos especies diferenciadas, el llamado anacardo rojo y el anacardo común. El anacardo rojo se caracteriza por su color y su forma más

alargada, asociada en algunas culturas con la fertilidad. Necesita de climas húmedos (incluso nórdicos) para crecer.

2.4.5. Descripción

A continuación se encuentra la descripción sobre el porte y follaje del árbol así como sus hojas, flores y su pseudofruto.

2.4.5.1. Porte y follaje

Es un árbol bajo, generalmente de menos de 15 m de altura, de tronco corto con ramificación escasa y torcida.

2.4.5.2. Hojas y flores

Las hojas miden 24 cm de largo y 3-10 cm de ancho. Las flores son verdes o amarillentas aromáticas de 10 a 20 cm de largo.

2.4.5.3. Pseudofruto

Es de color magenta o rojizo al madurar y su pulpa es de color amarillo naranja, tiene un sabor extremadamente agrio, dulce y astringente, además es muy jugoso. Su uso está relacionado con la fabricación de mermeladas, conservas dulces, jaleas, gelatinas, merey pasado, merey seco, vino, vinagre, jugos, entre otras.

2.4.5.4. Nuez

Se encuentra localizada en la parte externa del pseudofruto y adyacente a este. Está formado por el pericarpo y mesocarpo. Es de color gris con forma de riñón, duro y seco de unos 3 a 5 cm, en donde se aloja la semilla.

Figura 3. **Semilla de marañón (*Anacardium occidentale* L.)**



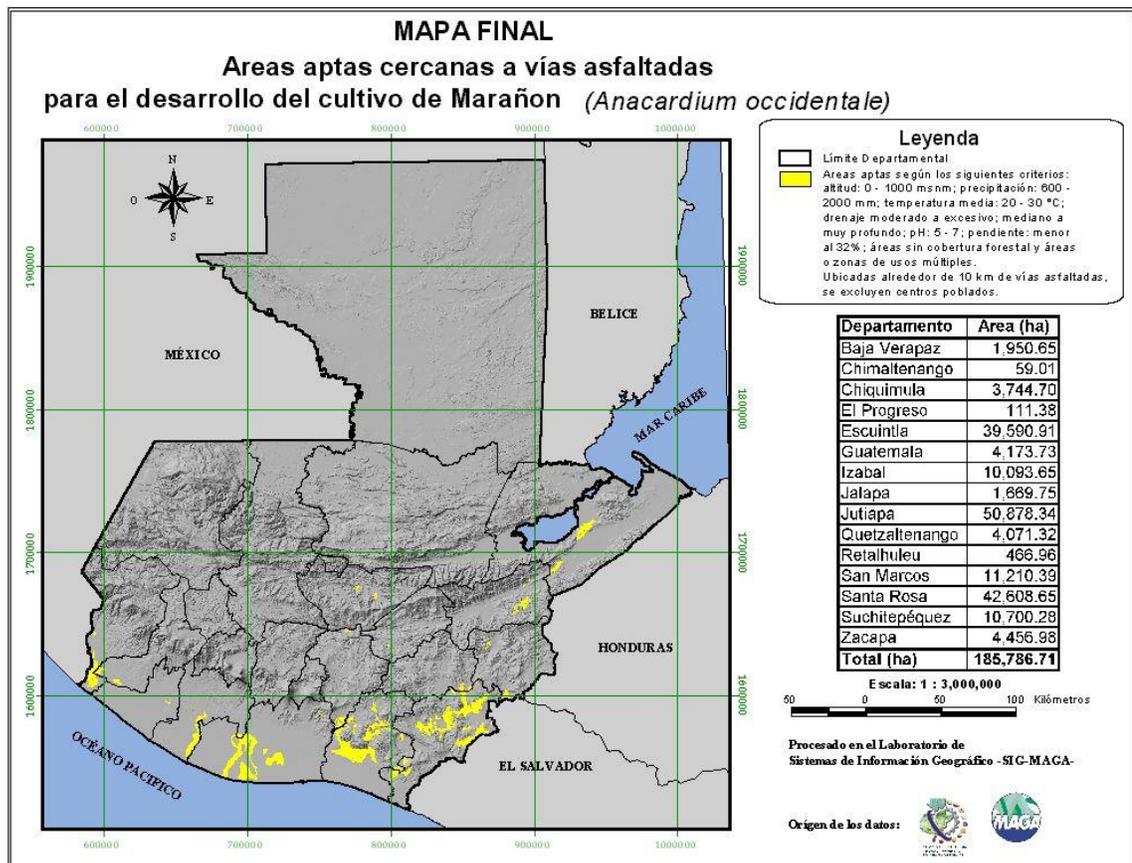
Fuente: Laboratorio Investigación de Extractos Vegetales.

2.4.6. Hábitat en Guatemala

- Altitud: 0-1 000 msnm
- Precipitación: 500-2 000 mm
- Temperatura media: 20-30 °C
- Drenaje: moderado a excesivo; mediano a muy profundo

- pH: 5-7
- Pendiente: menor al 32 %
- Áreas sin cobertura forestal y áreas o zonas de usos múltiples

Figura 4. **Áreas aptas para el cultivo de marañón en Guatemala**



Fuente: SIG-MAGA.

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Variables

A continuación se presentan las variables dependientes, independientes y fijas que inciden en el proceso de la extracción del aceite fijo de anacardo.

3.1.1. Variables independientes

Son consideradas como las causas. La variable independiente a considerar en el proyecto es el solvente utilizado: hexano, alcohol isopropílico y acetato de etilo.

3.1.2. Variables dependientes

Son consideradas como el factor que es observado y medido para determinar la incidencia de la variable independiente. Se considerarán como variables dependientes el porcentaje de rendimiento extractivo, densidad, índice de refracción, composición química de la fracción lipídica y los índices de calidad a analizar.

3.1.3. Variables fijas

Son las variables que se mantendrán constantes durante la experimentación. Se consideran como variables fijas el método de extracción, la relación sólido- solvente, tamaño de la partícula y tiempo de extracción.

La extracción fue realizada mediante el método de maceración dinámica con reflujo a temperatura ambiente y una velocidad de agitación aproximada entre 200 y 250 revoluciones por minuto. El tamaño de la partícula utilizado fue dentro de 2,36 y 2,00 mm, y la relación nuez-solvente fue de 1:3. Asimismo, se determinó el tiempo de extracción. Se determinó un tiempo de extracción óptimo por solvente, el cual fue de 4, 5,5 y 6 horas para el alcohol isopropílico, hexano y acetato de etilo respectivamente.

3.2. Delimitación del Campo de estudio

La investigación está limitada por una extracción a nivel laboratorio del aceite de la nuez de anacardo por el método de maceración dinámica con reflujo utilizando tres diferentes solventes: hexano, alcohol isopropílico y acetato de etilo; por cada solvente se realizaron 5 tratamientos. Asimismo, se realizó una extracción por el método Soxhlet para cada solvente como patrón de comparación.

Se determinarán las propiedades fisicoquímicas del aceite extraído: densidad, índice de refracción, solubilidad en agua, etanol y cloroformo. Así mismo se determinó el perfil de ácidos grasos del aceite extraído por cromatografía cromatografía gaseosa precedida por la derivatización del aceite. La evaluación de la calidad del aceite está compuesta por la determinación del índice de yodo, índice de acidez, índice de peróxidos, índice de saponificación, cantidad de materia saponificable, presencia de gomas, prueba de frío y presencia de jabón.

3.3. Recursos humanos disponibles

- Investigadora: Adriana Lissette López Tejeda.
- Asesor: Ingeniero Químico Mario José Mérida Meré.
- Coordinador Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales (LIEXVE), Sección Química Industrial, Centro de Investigaciones de Ingeniería, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Asesora: Ingeniera Química Telma Maricela Cano Morales.
- Directora Centro de Investigaciones de Ingeniería, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.

3.4. Recursos materiales disponibles

La experimentación se llevó a cabo en el Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales (LIEXVE) del Centro de Investigaciones de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

La determinación de la fracción lipídica se llevó a cabo en el Laboratorio de Alimentos de la Facultad de Ingeniería de la Universidad del Valle de Guatemala.

3.4.1. Materia prima

- Semilla de la nuez de marañón (*Anacardium occidentale* L.)

3.4.2. Equipo

- Equipo Soxhlet

- Balanza analítica, marca Boeco, Alemania
- Balanza de humedad, marca Boeco, Alemania
- Bomba de recirculación de agua, marca WWR
- Plancha de calentamiento marca Corning, modelo MA 150
- Secador eléctrico de bandejas de flujo transversal marca Premlab
- Rotaevaporador marca Buchi, modelo R-200
- Refractómetro, marca Fisher Scientific

3.4.3. Cristalería

- Beackers
- Earlenmeyers
- Probetas
- Balón de fondo plano de 250 mL
- Balón de 250 mL
- Condensador
- Equipo Soxhlet
- Soportes y pinzas para asegurar el equipo Soxhlet
- Pizetas
- Viales para recolección de muestra

3.4.4. Reactivos

- | | |
|------------------------|----------------------|
| • Hexano | • Alcohol etílico |
| • Acetato de etilo | • Fenolftaleína |
| • Alcohol isopropílico | • Hidróxido de sodio |
| • Etanol | • Ácido acético |
| • Cloroformo | • Cloroformo |

- Yoduro de potasio
- Almidón
- Tiosulfato de sodio
- Dicromato de potasio
- Hidróxido de potasio
- Ácido clorhídrico
- Ácido sulfúrico
- Reactivo de Wijs
- Éter de petróleo
- Ácido fosfórico
- Acetona
- Azul de bromofenol

3.5. Técnicas cuantitativas

Las técnicas a nivel laboratorio para la realización de la investigación están conformadas por: porcentaje de humedad, tiempo óptimo de extracción, método de extracción: maceración dinámica con reflujo, determinación de las características fisicoquímicas y determinación de las características analíticas que definen la calidad del aceite obtenido.

3.5.1. Porcentaje de humedad

Al obtener la materia prima se procede a determinar el porcentaje de humedad de la semilla, el cual es obtenido mediante la balanza de humedad. Se coloca un gramo de la muestra en el platillo y se distribuye homogéneamente, se procede a colocar el platillo en la cámara de secado la cual se calienta hasta una temperatura de 105 °C. Al finalizar, la balanza proporciona el porcentaje de humedad de la muestra.

La extracción del aceite fijo de marañón debe ser realizada con materia prima a un 5-6 % de humedad, por lo que es necesario deshidratarla hasta obtener el porcentaje de humedad deseado. Para el cálculo de del porcentaje de humedad se utilizó la siguiente ecuación

$$\% \text{ humedad} = \left(\frac{w_0 - w_f}{w_f} \right) * 100 \% \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde

$\% \text{ humedad}$ = porcentaje de humedad

w_0 = peso inicial

w_f = peso final después de la deshidratación

3.5.2. Tiempo óptimo de extracción

El tiempo óptimo de extracción se determinó a partir de una gráfica de la absorbancia de una muestra del solvente y el extracto de aceite, en función del tiempo de extracción. Se coloca una extracción por el método Soxhlet y se procede a medir la absorbancia del solvente puro. Conforme avanza la extracción, se realizaron mediciones de la absorbancia aproximadamente cada hora durante 6 o 7,5 horas. Finalmente se realizó la gráfica de absorbancia en función del tiempo de extracción y el tiempo óptimo corresponde al tiempo en donde la absorbancia se mantiene constante.

3.5.3. Extracción por maceración dinámica con reflujo

- Colocar la semilla de marañón (*Anacardium occidentale* L.) ya molida en un balón de fondo plano y agregar 150 mL de solvente y un agitador magnético.
- Armar el equipo de maceración dinámica con reflujo y encender plancha de agitación.
- Al cumplir el tiempo óptimo de extracción, apagar la plancha de agitación.
- Filtrar al vacío la solución.

- Recuperar el aceite fijo en el equipo de rotaevaporación.
- Filtrar con papel filtro lo recuperado en la rotaevaporación con el fin de eliminar cualquier impureza y recuperar aceite en un vial.
- Pesar la el aceite fijo y determinar su porcentaje de rendimiento con respecto a la masa de materia prima inicial de la cual se extrajo el aceite fijo.

3.5.4. Extracción por método Soxhlet

- Colocar la semilla de marañón (*Anacardium occidentale* L.) ya molida en el dedal e insertarlo en el centro de la cámara.
- Colocar 150 mL del solvente en el balón de destilación de fondo plano de 250 mL y agregar perlas de ebullición.
- Encender la plancha de calentamiento.
- Dejar el ciclo de extracción durante el tiempo óptimo de extracción determinado, el cual será medido a partir del primer sifoneo.
- Al cumplir el tiempo de extracción, se apaga la plancha y es necesario esperar a que se enfríe la solución que contiene el solvente y la fracción lipídica.
- Recuperar la fracción lipídica por medio de una rotaevaporación.
- Pesar el aceite fijo obtenido y determinar el porcentaje de rendimiento respecto a la masa de materia prima inicial.

3.5.5. Porcentaje de rendimiento

- Instrumentos
 - Balanza analítica
 - Vial

- Procedimiento
 - Pesar la muestra de materia prima para cada extracción.
 - Tarar el vial.
 - Pesar el vial con el aceite extraído obtenido.

- Cálculo

Para el cálculo del rendimiento de la extracción se utilizó la siguiente ecuación

$$\% \text{ Rendimiento} = \frac{m_{ae} - m_b}{m_0} * 100 \% \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde

$\%$ = rendimiento (peso/peso)

m_{ae} = masa del aceite extraído y el balón [g]

m_b = masa del balón [g]

m_0 = masa inicial de la materia prima en la extracción [g]

3.5.6. Caracterización fisicoquímica

A continuación se encuentra la caracterización fisicoquímica que contiene los diferentes instrumentos y procedimientos a seguir.

3.5.6.1. Densidad

- Instrumentos
 - Picnómetro

- Balanza analítica
- Procedimiento
 - Tarar el picnómetro
 - Agregar el aceite extraído y tapar con el tapón
 - Pesar el picnómetro con el aceite
- Cálculo

Para el cálculo de la densidad del aceite extraído se utilizó la siguiente ecuación

$$\rho = \frac{m_2 - m_1}{V} \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde

ρ = densidad [g/ml]

m_2 = masa del picnómetro con el aceite [g]

m_1 = masa del picnómetro [g]

V = volumen (según la capacidad del picnómetro) [ml]

3.5.6.2. Índice de refracción

- Instrumentos
 - Refractómetro Fischer
 - Balanza analítica

- Procedimiento
 - Cubrir el lente del refractómetro con el aceite extraído
 - Cerrar el refractómetro y encender la luz
 - Anotar la lectura del índice de refracción
 - Limpiar el lente del refractómetro con etanol

3.5.6.3. Solubilidad

La prueba de solubilidad se realizó con 3 solventes: agua, etanol y cloroformo.

- Procedimiento
 - Colocar 3 *beakers* con una pequeña cantidad de agua, etanol y cloroformo respectivamente.
 - Agregar una pequeña muestra del aceite extraído.
 - Observar si es soluble o insoluble.

3.5.6.4. Cromatografía de gases acoplado a espectrometría de masas (GC-MS)

La GC-MS consiste en inyectar dentro del espectrómetro una cantidad igual a 0,1 μL de aceite fijo. En este método se produce la identificación de los compuestos presentes en el aceite fijo por medio de iones que comparan su peso molecular con el del patrón utilizado, y luego se grafica en un cromatograma. Cada pico del cromatograma representa un tiempo de retención en el que se le asigna un área porcentual con un nivel de confianza que indica

la probabilidad de presencia de un determinado componente en la muestra, para luego identificarlo y nombrarlo según la librería contenida en el programa.

- **Derivatización**

Es el proceso realizado antes de proceder a la cromatografía gaseosa, y consiste en modificar químicamente un compuesto para producir un derivado con nuevas propiedades que faciliten o permitan su análisis. Mejora la volatilidad, estabilidad térmica y la detección del analito.

3.5.7. Índices de calidad

A continuación se detalla los diferentes índices de calidad basados en los diferentes reactivos y soluciones a utilizar.

3.5.7.1. Índice de acidez basado en el método oficial AOCS Ca 5a - 40

- **Reactivos y soluciones**
 - Alcohol etílico al 95 %, neutralizado con una base y con un definido punto final con fenolftaleína.
 - Solución indicadora de fenolftaleína al 1 % en alcohol al 95 %.
 - Solución de hidróxido de sodio 0,25 N, recientemente estandarizada.

- Procedimiento
 - Pesar aproximadamente entre 5 y 10 g de muestra cuando esta esté bien mezclada y líquida; es importante nunca calentar la muestra más de 10 °C arriba de su punto de fusión.
 - Adicionar 75 mL del alcohol caliente y neutralizado y 2 mL del indicador.
 - Titular 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 debe persistir por 30 segundos.

- Cálculo

Para el cálculo del índice de acidez se utilizó la siguiente ecuación, la cual expresa el contenido de ácidos grasos en porcentaje de ácido oleico, como comúnmente se representa en la mayoría de aceites y grasas.

$$\%AGL = \frac{mL\ base * N * 28,2}{pm} \qquad \text{Ecuación 4}$$

Donde

mL base = mL de NaOH gastados en la titulación [mL]

N = normalidad del NaOH [eq/mL]

pm = peso de la muestra [g]

3.5.7.2. Índice de peróxidos basado en el método oficial AOCS Cd 8-53

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

- Soluciones
 - Solución de ácido acético – cloroformo (3:2 v/v).
 - Solución saturada de ioduro de potasio, preparada recientemente, disolviendo un exceso de KI en agua destilada, recientemente hervida.
 - Asegurarse que la solución de KI permanezca saturada durante su uso, indicado por la presencia de cristales no disueltos.
 - Almacenar en la oscuridad cuando no se utilice, probar la solución agregando 2 gotas de solución de almidón y 0,5 mL de solución de KI en 30 mL de la solución ácido acético –cloroformo. Si se torna de color azul que requiere más de una gota de solución 0,1 N de tiosulfato de sodio para desaparecer, se descarta la solución de yoduro de potasio y se prepara una nueva.
 - Solución de tiosulfato de sodio 0,1 N, estandarizada recientemente con una solución de dicromato de potasio.
 - Solución de tiosulfato de sodio 0,01N, exactamente estandarizada.

- Solución indicadora al 1 % de almidón soluble en agua destilada.
- Procedimiento
 - Pesar 5,00 g de muestra en un Erlenmeyer de 250 mL y agregar 30 mL de solución de ácido acético – cloroformo. Agitar para disolver la muestra.
 - Agregar 0,5 mL de solución saturada de ioduro de potasio KI.
 - Dejar que la solución repose durante 1 minuto, agitando ocasionalmente y luego agregar 30 mL de agua destilada.
 - Titular con tiosulfato de sodio 0,1 N, agitando constantemente hasta que el color amarillo casi desaparezca.
 - Agregar 0,5 mL de la solución de almidón, y continuar la titulación con agitación. Cerca del punto final agregar el tiosulfato en gotas hasta que desaparezca el color azul.
 - Hacer una determinación con un blanco. La titulación no debe exceder 0,1 mL de la solución de tiosulfato de sodio 0,1 N.
- Cálculo

Para la determinación del índice de peróxido, expresado como miliequivalentes de oxígeno peróxido por kilogramo de muestra, se utiliza la siguiente ecuación

$$\text{índice de peróxido} = \frac{1\,000 \cdot (V_1 - V_2) \cdot N}{m} \qquad \text{Ecuación 5}$$

Donde

V_1 = volumen solución de tiosulfato empleado en la titulación de la muestra [mL]

V_2 = volumen solución de tiosulfato empleado en la prueba en blanco [mL]

N = normalidad de la solución de tiosulfato de sodio

m = masa de la muestra [g]

3.5.7.3. Índice de saponificación basado en el método oficial AOCS Cd 3-25

- Reactivos
 - Hidróxido de potasio
 - Alcohol etílico 95 % (v/v)
 - Agua
 - Fenolftaleína al 1 % en alcohol etílico de 95 % (v/v)
 - Ácido clorhídrico

- Soluciones
 - Solución alcohólica de hidróxido de potasio: pesar 10 gramos de hidróxido de potasio en un balón de 2 litros. Agregar de 1 a 1,5 litros de alcohol etílico, hervir en un baño con agua y poner a reflujo en un condensador de 30 a 60 minutos. Destilar y colectar el alcohol. Disolver 40 gramos de hidróxido de potasio en un litro del alcohol destilado a una temperatura menor de 15.5 °C.
 - Ácido clorhídrico 0,5 N, debidamente valorada.
 - Indicador fenolftaleína.

- Procedimiento
 - Pesar de 4 a 5 gramos de aceite y agregar 50 mL de la solución alcohólica de hidróxido de potasio alcohólica, dejando que esta escurra durante unos 30 s.
 - Preparar un blanco de forma simultánea a las muestras.
 - Colocar los balones de blanco y muestras en un condensador durante una hora.
 - Después de obtener la muestra deseada, lavar el condensador con una cantidad mínima de agua destilada.
 - Titular la solución con ácido clorhídrico 0,5 M utilizando como indicador fenolftaleína.

- Cálculo

Para el cálculo del índice de saponificación, el cual se expresa en miligramos de hidróxido de potasio por gramo de muestra, se utiliza la siguiente ecuación:

$$\frac{mg\ KOH}{g} = \frac{56,1*(V_1-V_2)*N}{m} \qquad \text{Ecuación 6}$$

Donde

V_1 = volumen solución de ácido clorhídrico empleado en la prueba en blanco [mL]

V_2 = volumen solución de ácido clorhídrico empleado en la titulación de la muestra [mL]

N = normalidad de la solución de ácido clorhídrico

m = masa de la muestra [g]

3.5.7.4. Índice de yodo basado en el método oficial AOCS Cd 1-25, método de Wijs

- Reactivos y soluciones
 - Solución de yoduro de potasio (KI, 15 %): disolver 15 g de KI en 100 mL de agua.
 - Solución de Wijs.
 - Almidón soluble; mezclar 1 g de almidón con un poco de agua fría. Mientras se mezclan, agregar 200 mL de agua hirviendo.
 - Dicromato de potasio 0,1 N.
 - Tiosulfato de sodio 0,1 N.
 - Ácido acético glacial.
 - Ácido clorhídrico concentrado.
 - Ácido sulfúrico concentrado.
 - Ciclohexano.
 - Solvente ciclohexano-ácido acético: mezclar ciclohexano y ácido acético en proporción 1:1.

- Procedimiento
 - Pesar la muestra según la siguiente tabla

Tabla II. Cantidad de muestra para determinación del índice de yodo

Índice de yodo	Masa de la muestra [g]	Exactitud de la pesada [g]
3	10,576 – 8,4613	±0,005
5	6,346 – 5,0770	±0,0005
10	3,1730 – 2,5384	±0,0002
20	1,5865 – 0,8461	±0,0002
40	0,7935 – 0,6346	±0,0002

Continuación de la tabla II.

60	0,5288 – 0,4231	±0,0002
80	0,3966 – 0,3173	±0,0001
100	0,3173 – 0,2538	±0,0001
120	0,2644 – 0,2115	±0,0001
140	0,2266 – 0,1813	±0,0001
160	0,1983 – 0,1587	±0,0001
180	0,1762 – 0,1410	±0,0001
200	0,1586 – 0,1269	±0,0001

Fuente: AOCS Cd 1-25. *Official method iodine value of fats and oils Wijs Method, sampling and analysis of commercial fats and oils.* p. 23.

- Preparar dos pruebas en blanco para correrlos simultáneamente con la muestra.
- Agregar 15 mL del solvente ciclohexano-ácido acético a cada muestra y agitar levemente para asegurarse que la disolución sea completa.
- Agregar 25 mL de solución de Wijs a cada muestra y agitar para mezclar.
- Dejar reposar en la oscuridad de una a dos horas de acuerdo al índice de yodo esperado de la muestra, para valores menores a 150 se deben dejar reposar una hora, mientras que valores mayores se deben reposar dos horas.
- Transcurrido el tiempo de reacción, agregar 20 mL de la solución de yoduro de potasio y mezclar.
- Agregar 150 mL de agua y titular gradualmente con solución estándar de tiosulfato de sodio a 0,1 N hasta que desaparezca el color amarillento de la solución.
- Agregar de 1 a 2 mL del indicador de almidón y continuar titulado hasta que se torne de azul a transparente. Si no se realiza la

titulación a un máximo de 30 minutos luego del tiempo de reacción, la muestra debe descartarse.

- Cálculo

Para el cálculo del índice de yodo se utiliza la siguiente ecuación y promediando los resultados obtenidos en las determinaciones en duplicado:

$$\text{índice de yodo} = \frac{12,69 \cdot (V_1 - V_2) \cdot N}{m} \quad \text{Ecuación 7}$$

Donde

V_1 = volumen solución de tiosulfato de sodio empleado en la titulación de la prueba en blanco [mL]

V_2 = volumen solución de tiosulfato de sodio empleado en la titulación de la muestra [mL]

N = normalidad de la solución de tiosulfato de sodio

m = masa de la muestra [g]

3.5.7.5. Materia insaponificable basado en el método oficial AOCS Ca 6a -40

- Reactivos

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

- Procedimiento
 - Pesar 5 g de muestra dentro de un Erlenmeyer o un matraz, agregar 30 mL de alcohol al 95 % y 5 mL de KOH al 50 %.
 - Poner a reflujo durante 1 hora, hasta completar la saponificación.
 - Transferir a una ampolla de decantación y lavar el matraz con 40 mL de alcohol al 95 %, complete la transferencia con 80 mL de agua destilada, continuar los lavados con pequeñas cantidades de éter y agregar al cilindro.
 - Dejar enfriar hasta 20 o 25 °C y luego agregar 50 mL de éter.
 - Agitar vigorosamente por 1 minuto la ampolla de decantación con su respectivo tapón, para que se separen las dos fases.
 - Drenar las fracciones de éter.
 - Repetir la extracción usando éter en porciones de 50 mL hasta completar 6 o 7 extracciones, luego agitar vigorosamente, con cada extracción.
 - Realizar tres lavados con alcohol al 10 % en agua destilada, agitar vigorosamente y drenar el alcohol. Después de cada lavado no remover el éter, sino transferirlo a un *beacker* tarado y evaporar el contenido en baño maría y completar el secado en el horno de 75 a 80 °C.
 - Pesar la muestra y luego agregar 50 mL de alcohol al 95 % caliente a 50 °C, neutralizando y titulando con NaOH 0,02 N, usando fenolftaleína de indicador.
 - Hacer un blanco por prueba de materia insaponificable (sin grasa presente).

- Cálculo

Para el cálculo de la materia insaponificable se utilizó la siguiente ecuación

$$\% \text{ materia insaponificable} = \frac{A-(B+C)}{m} * 100 \% \quad \text{Ecuación 8}$$

Donde

A = masa del residuo [g]

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

C = masa del blanco [g]

3.5.7.6. Presencia de gomas basado en el método oficial AOCS

- Reactivos y soluciones
 - Pesar 100 g de muestra y colocarlos en un *beacker* de 400 mL.
 - Agregar a la muestra 1 gota de ácido fosfórico y 10 mL de agua destilada hervida.
 - Calentar la mezcla a 70 °C con agitación durante 10 minutos.
 - Tarar y llenar un tubo de ensayo con la muestra (o los que sean necesarios), para colocarlo en la centrífuga durante 10 a 15 minutos.
 - Trasvasar el aceite separado en la centrífuga.
 - Realizar dos lavados consecutivos con hexano a las gomas depositadas en el tubo de ensayo y agregarlas a un *beacker* de 250 mL.
 - Recuperar todas las gomas del tubo de ensayo con espátula y destilar el hexano, calentando la muestra a 70 °C en el horno.

- Pesar el *beacker* de 250 mL conteniendo las gomas secas.
- Cálculo

Para el cálculo del porcentaje de gomas presentes en la muestra se utilizó la siguiente ecuación

$$\% \text{ gomas} = MG - MB \qquad \text{Ecuación 9}$$

Donde

MG= masa del *beacker* más las gomas [g]

MB= masa *beacker* [g]

C = masa del blanco

3.5.7.7. Prueba del frío basado en el método oficial AOCS Cc 11-53

- Reactivos
 - Ninguno
- Procedimiento
 - Filtrar de 200 a 300 mL de muestra por medio de papel filtro y luego calentar la porción filtrada.
 - Agitar continuamente la muestra mientras se calienta hasta 130 °C;
 - Llenar una botella con la muestra completamente y colóquele un tapón limpio y seco.

- Ajustar la temperatura de la muestra y la botella a temperatura ambiente con parafina.
- Introducir la botella con la muestra en un baño con hielo y refrigerar. Es indispensable que el baño se mantenga a 0 °C.
- Revisar periódicamente que el aceite se mantenga claro y brillante. Observar que no tenga cristales grasos o esté nublado. No confundir las pequeñas burbujas de aire con cristales. La prueba termina cuando se da el nublamiento, se anota el tiempo que tardó el aceite para llegar a ese estado.

3.5.7.8. Prueba de presencia de jabón en aceites basado en el método oficial AOCS Cc 17-79

- Reactivos y soluciones
 - Acetona al 98 %
 - Ácido clorhídrico 0,01 N estandarizada exactamente
 - Azul de bromofenol solución indicadora 0,4 % en agua

- Procedimiento
 - Colocar 100 mL de la solución acetona –agua en un earlenmayer de 500 mL y añadir 0,5 mL de solución indicadora de azul de bromofenol.
 - Neutralizar la mezcla acetona – agua para titulación a el punto fina (presencia del color amarillo con 0,01 N de HCl).
 - Añadir aproximadamente 100 g. de muestra filtrada y bien mezclada a la solución neutralizada.
 - Titular hasta el punto final (color amarillo con 0,01 N de HCl).

- Cálculo

Para el cálculo de la presencia de jabón, el cual se expresa como oleato de sodio, se utilizó la siguiente ecuación

$$\text{Cantidad de jabón} = \frac{V * N * 304.400}{m} * 100 \% \quad \text{Ecuación 9}$$

Donde

V volumen de HCl utilizado para la titulación [g]

N normalidad del HCl

m masa de la muestra [g]

3.6. Recolección y ordenamiento de la información

A continuación, se recolectaron y ordenaron los datos obtenidos en la medición de porcentaje de humedad, tiempo óptimo de extracción, extracción de aceite fijo de semilla de marañón y la caracterización fisicoquímica.

Tabla III. **Porcentaje de humedad materia prima sin deshidratar**

Muestra	Porcentaje de humedad
1	13,89
2	11,18
3	9,08
Promedio	11,38

Fuente: elaboración propia, basada en técnicas cuantitativas de la investigación.

Tabla IV. **Pesos de materia prima durante deshidratación**

Muestra	Solo semilla (g)	Peso 1 (g)	Peso 2 (g)	Peso 3 (g)	Peso 4 (g)
1	10,86	10,39	10,31	10,25	10,20
2	11,97	11,55	11,46	11,39	11,33
3	13,12	12,66	12,56	12,49	12,42
4	14,07	13,53	13,42	13,33	13,25
5	12,74	12,33	12,23	12,15	12,08
6	11,71	11,33	11,23	11,16	11,10

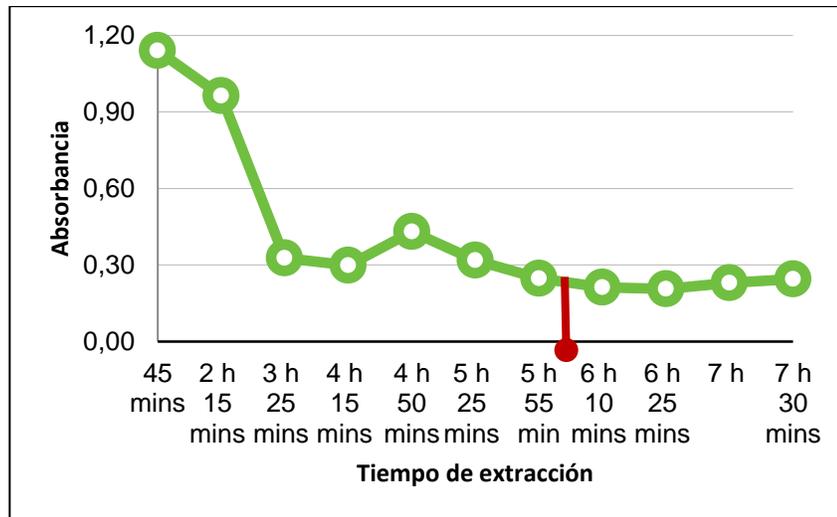
Fuente: elaboración propia, basada en técnicas cuantitativas de la investigación.

Tabla V. **Determinación del tiempo óptimo de extracción del aceite de la nuez de marañón utilizando como solvente extractivo acetato de etilo**

Tiempo de extracción	Absorbancia
45 min	1,14
2 h 15 min	0,963
3 h 25 min	0,327
4 h 15 min	0,299
4 h 50 min	0,431
5 h 25 min	0,319
5 h 55 min	0,247
6 h 10 min	0,213
6 h 25 min	0,206
7 h	0,23
7 h 30 min	0,245

Fuente: elaboración propia, basada en técnicas cuantitativas de la investigación.

Figura 5. **Gráfica de absorbancia en función del tiempo de extracción para la determinación del tiempo óptimo de extracción utilizando como solvente extractivo acetato de etilo**



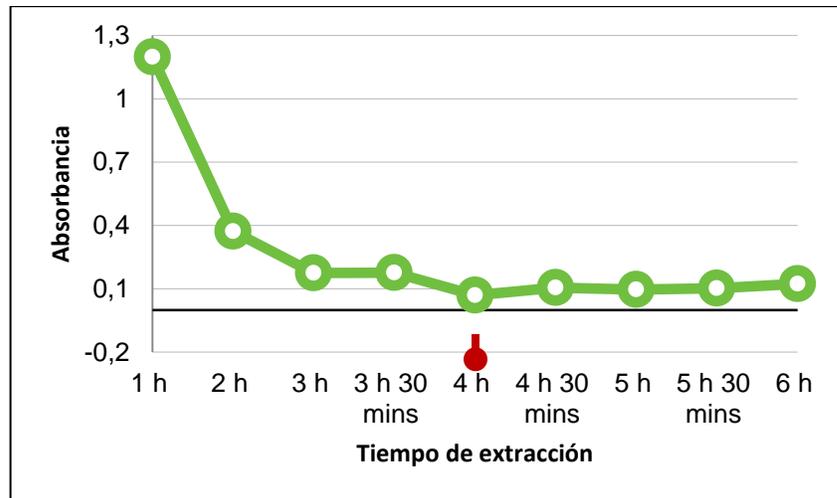
Fuente: elaboración propia, basada en la recolección y ordenamiento de la información (tabla V).

Tabla VI. **Determinación del tiempo óptimo de extracción del aceite de la nuez de marañón utilizando como solvente extractivo alcohol isopropílico**

Tiempo de extracción	Absorbancia
1 h	1,198
2 h	0,373
3 h	0,175
3 h 30 min	0,176
4 h	0,069
4 h 30 min	0,106
5 h	0,097
5 h 30 min	0,102

Fuente: elaboración propia, basada en técnicas cuantitativas de la investigación.

Figura 6. **Gráfica de absorbancia en función del tiempo de extracción para la determinación del tiempo óptimo de extracción utilizando como solvente extractivo alcohol isopropílico**



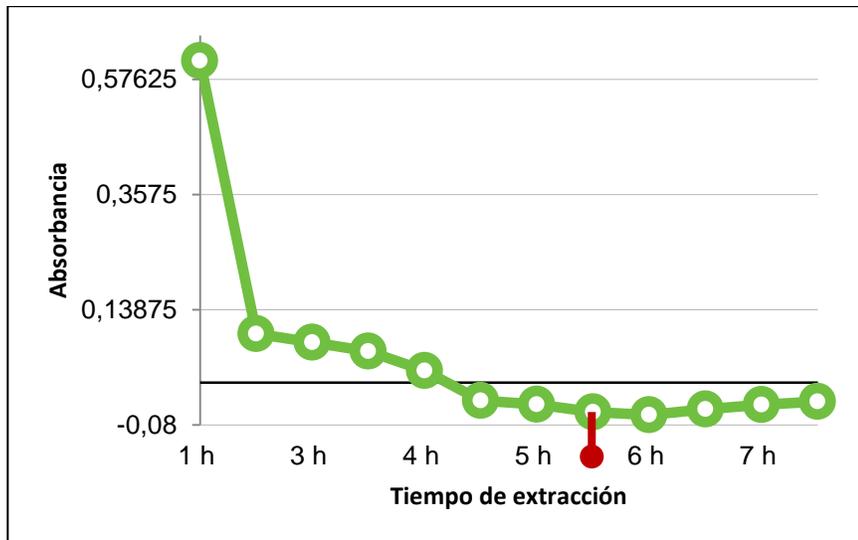
Fuente: elaboración propia, basada en la recolección y ordenamiento de la información (tabla VI).

Tabla VII. **Determinación tiempo óptimo de extracción utilizando como solvente extractivo hexano**

Tiempo de extracción	Absorbancia
1 h	0,612
2 h	0,093
3 h	0,077
3 h 30 min	0,06
4 h	0,023
4 h 30 min	-0,034
5 h	-0,041
5 h 30 min	-0,056
6 h	-0,061
6 h 30 min	-0,05
7 h	-0,042
7 h 30 min	-0,036

Fuente: elaboración propia, basada en técnicas cuantitativas de la investigación.

Figura 7. **Gráfica de absorbancia en función del tiempo de extracción para la determinación del tiempo óptimo de extracción utilizando hexano como solvente extractivo**



Fuente: elaboración propia, basada en la recolección de la información (tabla VII).

Tabla VIII. **Datos experimentales para rendimiento extractivo de aceite fijo por el método de maceración dinámica con reflujo**

Núm.	Solvente	Nuez [g]	Tara vial [g]	Vial + aceite [g]
1	Alcohol isopropílico	50,04	22,34	28,64
2	Hexano	50,24	26,73	40,86
3	Acetato de etilo	51,55	22,34	35,08
4	Alcohol isopropílico	50,15	26,73	34,96
5	Hexano	50,2	22,67	34,64
6	Acetato de etilo	50,11	22,66	31,50
7	Hexano	50,16	22,63	36,05
8	Hexano	50,02	22,58	35,52
9	Acetato de etilo	50,03	22,34	31,06
10	Acetato de etilo	50,05	22,63	33,46
11	Alcohol isopropílico	50,06	22,47	29,40
12	Alcohol isopropílico	50,09	22,50	27,99
13	Acetato de etilo	50,22	22,70	30,64
14	Hexano	50,03	22,22	36,14
15	Alcohol isopropílico	50,14	22,37	27,65

Fuente: elaboración propia, basada en técnicas cuantitativas de la investigación.

Tabla IX. **Datos experimentales para la determinación de la densidad**

Solvente	Corrida	Masa picnómetro [g]	Masa de aceite fijo y picnómetro [g]	Volumen picnómetro [mL]
Hexano	2	3,4042	4,3513	1,38
	5	3,4042	4,3340	1,38
	7	3,4042	4,3325	1,38
	8	3,4042	4,3526	1,38
	14	3,4042	4,3509	1,38
Acetato de etilo	3	3,4042	4,3502	1,38
	6	3,4042	4,3487	1,38
	9	3,4042	4,3474	1,38
	10	3,4042	4,3482	1,38
	13	3,4042	4,3478	1,38

Continuación de la tabla IX.

2-propanol	1	3,4042	4,3521	1,38
	4	3,4042	4,3490	1,38
	11	3,4042	4,3479	1,38
	12	3,4042	4,3530	1,38
	15	3,4042	4,3607	1,38

Fuente: elaboración propia, basada en técnicas cuantitativas de la investigación.

Tabla X. **Prueba de solubilidad**

Aceite obtenido por:	Agua	Etanol	Cloroformo
Hexano	Insoluble	Insoluble	Soluble
Alcohol isopropílico	Insoluble	Insoluble	Soluble
Acetato de etilo	Insoluble	Insoluble	Soluble

Fuente: elaboración propia, basada en técnicas cuantitativas de la investigación.

Tabla XI. **Índice de refracción**

Núm. Muestra	Solvente	Índice de refracción
1	Alcohol isopropílico	1,4690
2	Hexano	1,4612
3	Acetato de etilo	1,4675
4	Alcohol isopropílico	1,4690
5	Hexano	1,4630
6	Acetato de etilo	1,4680
7	Hexano	1,4680
8	Hexano	1,4685
9	Acetato de etilo	1,4670
10	Acetato de etilo	1,4665
11	Alcohol isopropílico	1,4690
12	Alcohol isopropílico	1,4680

Continuación de la tabla XI.

13	Acetato de etilo	1,4670
14	Hexano	1,4660
15	Alcohol isopropílico	1,4672

Fuente: elaboración propia, basada en técnicas cuantitativas de la investigación.

Tabla XII. **Datos experimentales para la determinación del índice de acidez**

Corrida	Masa aceite [g]	mL NaOH	Índice de acidez
1	5,02	3,85	5,039
2	5	1,9	2,497
3	5	2,2	2,891

Fuente: elaboración propia, basada en técnicas cuantitativas de la investigación.

Tabla XIII. **Datos experimentales para la determinación del índice de saponificación**

Corrida	V HCl blanco [mL]	V HCl muestra [mL]	N HCl [eq./L]	M muestra [g]	Índice de saponificación
1	50	22	0,5	4,3	182,7
2	52	24	0,5	4,2	187,0
3	50	21	0,5	4,58	177,6

Fuente: elaboración propia, basada en técnicas cuantitativas de la investigación.

Tabla XIV. **Datos experimentales para la determinación de la cantidad de gomas**

Corrida	Masa aceite [g]	tara caja y papel [g]	Gomas y Petri	Gomas
1	5,26	92,65	92,79	0,14
2	5,03	90,56	90,62	0,06
3	5,21	94,99	95,23	0,24

Fuente: elaboración propia, basada en técnicas cuantitativas de la investigación.

Tabla XV. **Datos experimentales para la determinación del índice de peróxidos**

Corrida	Muestra [g]	Normalidad [eq/L]	Titulación [mL]	Peróxidos [meq O_2 /kg]
1	5	0,01	0,6	1,200
2	5,01	0,01	0,65	1,277
3	5	0,01	0,63	1,240

Fuente: elaboración propia, basada en técnicas cuantitativas de la investigación.

Tabla XVI. **Datos experimentales para la determinación de la presencia de jabones**

Corrida	Muestra [g]	Neutralizar [mL]	Titulación [mL]	Jabones [ppm]
1	5,05	5	0,050	337
2	5,08	2,85	0,055	369
3	5,01	2,8	0,055	374

Fuente: elaboración propia, basada en técnicas cuantitativas de la investigación.

Tabla XVII. **Determinación prueba en frío**

Corrida	Temperatura °C
1	20
2	21
3	19

Fuente: elaboración propia, basada en técnicas cuantitativas de la investigación.

Tabla XVIII. **Datos experimentales para la determinación de índice de yodo**

Corrida	Muestra [g]	Normalidad titulante	Titulación blanco [mL]	Titulación muestra [mL]	Índice de yodo [cg l / g]
1	0,35	0,1	49	26,9	80,13
2	0,34	0,1	49	26,2	85,10
3	0,36	0,1	49	25,2	83,90

Fuente: elaboración propia, basada en técnicas cuantitativas de la investigación.

Tabla XIX. **Composición química aceite fijo de semilla de marañón obtenido por el método de maceración dinámica con acetato de etilo**

i	Tiempo de retención (min)	% Área	Componente químico	Número CAS
1	34,105	62,67	Ácido (Z)-9-octadecenóico	000112-62-9
2	34,960	20,03	Ácido (9Z, 12Z)-9, 12- octadecadienoico	000112-63-0
3	30,593	10,85	Ácido hexadecanoico	000112-39-0
4	33,277	5,96	Ácido octadecanoico	000112-61-8
5	33,618	0,26	Ácido octadecanoico	000112-61-8
6	31,212	0,22	Ácido 11-hexadecenoico	055000-42-5

Fuente: elaboración propia, basada en técnicas cuantitativas de la investigación.

Tabla XX. **Composición química aceite fijo de semilla de marañón obtenido por el método de maceración dinámica con hexano**

Núm.	Tiempo de retención (min)	Porcentaje área	Componente químico	Número CAS
1	34,105	62,93	Ácido (Z)-9-octadecenoico	000112-62-9
2	34,960	18,87	Ácido (9Z, 12Z)-9, 12-octadecadienoico	000112-63-0
3	30,593	10,95	Ácido hexadecanoico	000112-39-0
4	33,277	7,04	Ácido octadecanoico	000112-61-8
5	31,212	0,22	Ácido octadecanoico	000112-61-8

Fuente: elaboración propia, basada en técnicas cuantitativas de la investigación.

Tabla XXI. **Composición química aceite fijo de semilla de marañón obtenido por el método de maceración dinámica con alcohol isopropílico**

Núm.	Tiempo de retención (min)	Porcentaje área	Componente químico	Número CAS
1	34,105	62,31	Ácido (Z)-9-octadecenoico	000112-62-9
2	34,960	20,09	Ácido (9Z, 12Z)-9, 12-octadecadienoico	000112-63-0
3	30,593	9,67	Ácido hexadecanoico	000112-39-0
4	33,277	7,92	Ácido octadecanoico	000112-61-8

Fuente: elaboración propia, basada en técnicas cuantitativas de la investigación.

3.7. Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información

A continuación se define la tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información adquirida.

Tabla XXII. **Porcentaje de humedad materia prima deshidratada**

Muestra	Peso inicial [g]	Peso final [g]	Porcentaje humedad
1	10,856	10,197	6,46
2	11,969	11,330	5,64
3	13,122	12,415	5,69
4	14,068	13,254	6,14
5	12,742	12,077	5,51
6	11,710	11,100	5,50

Fuente: elaboración propia, basada en técnicas cuantitativas de la investigación (tabla IV)

Tabla XXIII. **Tiempo óptimo de extracción**

Solvente	Tiempo óptimo de extracción
Acetato de etilo	6 horas
Alcohol isopropílico	4 horas
Hexano	5 horas 30 min

Fuente: elaboración propia, basada en la recolección y ordenamiento de la información, (figuras 5, 6 y 7).

Tabla XXIV. **Determinación rendimiento extractivo de aceite fijo por el método de maceración dinámica con reflujo**

Núm.	Solvente	Rendimiento porcentaje
1	Alcohol isopropílico	12,59
2	Hexano	28,13
3	Acetato de etilo	24,71
4	Alcohol isopropílico	16,41
5	Hexano	23,84
6	Acetato de etilo	17,64
7	Hexano	26,75
8	Hexano	25,87
9	Acetato de etilo	17,43
10	Acetato de etilo	21,64
11	Alcohol isopropílico	13,86
12	Alcohol isopropílico	10,96
13	Acetato de etilo	15,81
14	Hexano	27,83
15	Alcohol isopropílico	10,53

Fuente: elaboración propia, basada en la recolección y ordenamiento de información (tabla VIII).

Tabla XXV. **Determinación de la densidad**

Solvente	Corrida	Densidad	Promedio	Desviación estándar
Hexano	2	0,686	0,681	0,007
	5	0,674		
	7	0,673		
	8	0,687		
	14	0,686		
Acetato de etilo	3	0,686	0,684	0,001
	6	0,684		
	9	0,683		
	10	0,684		
	13	0,684		
2-propanol	1	0,687	0,687	0,004
	4	0,685		
	11	0,684		
	12	0,688		
	15	0,693		

Fuente: elaboración propia, basada en la recolección y ordenamiento de la información (tabla IX).

Tabla XXVI. **Determinación del índice de refracción**

Solvente	Corrida	Densidad	Promedio	Desviación estándar
Hexano	2	1,461	1,465	0,003
	5	1,468		
	7	1,463		
	8	1,469		
	14	1,466		
Acetato de etilo	3	1,468	1,467	0,001
	6	1,468		
	9	1,467		
	10	1,467		
	13	1,467		
2-propanol	1	1,469	1,468	0,001
	4	1,469		
	11	1,469		
	12	1,468		
	15	1,467		

Fuente: elaboración propia, basada en la recolección y ordenamiento de la información (tabla XI).

Tabla XXVII. **Determinación índice de acidez**

Corrida	Índice de Acidez [mg KOH/g]	Promedio [mg KOH/g]	Desviación estándar [mg KOH/g]
1	5,039	2,694	0,279
2	2,497		
3	2,891		

Fuente: elaboración propia, basada en la recolección y ordenamiento de la información (tabla XIII).

Tabla XXVIII. **Determinación del índice de saponificación**

Corrida	Índice de saponificación	Promedio [mg KOH/g]	Desviación estándar [mg KOH/g]
1	182,7	182,42	4,70
2	187,0		
3	177,6		

Fuente: elaboración propia, basada en la recolección y ordenamiento de la información (tabla XIII).

Tabla XXIX. **Determinación presencia de gomas**

Corrida	Gomas	Promedio	Desviación estándar
1	0,14	0,147	0,09
2	0,06		
3	0,24		

Fuente: elaboración propia, basada en la recolección y ordenamiento de la información (tabla XIV).

Tabla XXX. **Determinación índice de peróxidos**

Corrida	Índice de peróxidos [meq O₂/kg]	Promedio [meq O₂/kg]	Desviación estándar [meq O₂/kg]
1	1,200	1,239	0,04
2	1,277		
3	1,240		

Fuente: elaboración propia, basada en la recolección y ordenamiento de la información (tabla XVI).

Tabla XXXI. **Datos experimentales para la determinación de la presencia de jabones**

Corrida	Jabones [ppm]	Promedio [ppm]	Desviación estándar [ppm]
1	337	360	19,85
2	369		
3	374		

Fuente: elaboración propia, basada en la recolección y ordenamiento de la información (tabla XVI).

Tabla XXXII. **Determinación prueba en frío**

Corrida	Temperatura °C	Promedio °C	Desviación estándar
1	20	20	1 °C
2	21		
3	19		

Fuente: elaboración propia, basada en la recolección y ordenamiento de la información (tabla XVII).

Tabla XXXIII. **Datos experimentales para la determinación de índice de yodo**

Corrida	Índice de yodo [cg l / g]	Promedio [cg l / g]	Desviación estándar [cg l / g]
1	80,13	83,0	2,59
2	85,10		
3	83,90		

Fuente: elaboración propia, basada en la recolección y ordenamiento de la información (tabla XVIII).

Tabla XXXIV. **Clasificación de componentes químicos aceite fijo de semilla de marañón obtenido por el método de maceración dinámica con acetato de etilo**

Núm.	Porcentaje área	Componente químico Nombre común	Clasificación
1	62,67	Ácido oleico	Ácido graso monoinsaturado
2	20,03	Ácido linoleico	Ácido graso poliinsaturado
3	10,85	Ácido palmítico	Ácido graso insaturado
4	5,96	Ácido esteárico	Ácido graso insaturado
5	0,26	Ácido esteárico	Ácido graso insaturado
6	0,22	Ácido hexadecenoico 11-	Ácido graso monoinsaturado

Fuente: elaboración propia, basada en la recolección y ordenamiento de la información, (tabla XVIII y marco teórico tabla I).

Tabla XXXV. **Clasificación de componentes químicos aceite fijo de semilla de marañón obtenido por el método de maceración dinámica con hexano**

Núm.	Porcentaje área	Componente químico	Clasificación
1	62.93	Ácido oleico	Ácido graso monoinsaturado
2	18,87	Ácido linoleico	Ácido graso poliinsaturado
3	10,95	Ácido palmítico	Ácido graso insaturado
4	7,04	Ácido esteárico	Ácido graso insaturado
5	0,22	Ácido esteárico	Ácido graso insaturado

Fuente: elaboración propia, basada en la recolección y ordenamiento de la información (tabla XVIII y marco teórico tabla I).

Tabla XXXVI. **Clasificación de componentes químicos aceite fijo de semilla de marañón obtenido por el método de maceración dinámica con alcohol isopropílico**

Núm.	Porcentaje área	Componente químico	Clasificación
1	62,31	Ácido oleico	Ácido graso monoinsaturado
2	20,09	Ácido linoleico	Ácido graso poliinsaturado
3	9,67	Ácido palmítico	Ácido graso insaturado
4	7.92	Ácido esteárico	Ácido graso insaturado

Fuente: elaboración propia, basada en la recolección y ordenamiento de la información (tabla XIX y marco teórico tabla I).

3.8. Análisis estadístico

A continuación se encuentran los diferentes métodos de análisis estadísticos realizados.

3.8.1. Análisis de varianza Anova de un factor

Es un método utilizado para comparar dos o más medias usado en la obtención de datos. El análisis de varianza de un factor permite aceptar o rechazar una hipótesis acerca de un conjunto de poblaciones.

3.8.1.1. Distribución F

La distribución F se utiliza para realizar inferencias acerca de las varianzas de la población. El análisis se centra alrededor de las siguientes fuentes de variabilidad:

- Variabilidad dentro de las muestras (entre observaciones de muestras distintas).
- Variabilidad entre muestras (entre promedios muestrales).

Las fuentes de variabilidad generan importantes razones de varianzas muestrales y las razones se utilizan junto con la distribución F.

La razón F se utiliza en el contexto de prueba unilateral de cola superior. Es decir, cuando H_0 es verdadera se esperaría que el numerador s^2 fuera mayor que el denominador.

3.8.1.2. Razón F para probar la igualdad de las medias

Cuando H_0 es verdadera, la razón $f = s_1^2 / s^2$ es un valor de la variable aleatoria F. que tiene distribución F con $k-1$ y $k(n-1)$ grados de libertad. Como s_1^2 sobreestima σ^2 cuando H_0 es falso, se tiene una prueba de una cola con la región crítica contenida por entero en la cola derecha de la distribución.

Con un nivel de significancia de α , se rechaza la hipótesis nula H_0 cuando

$$f > f_{\alpha} [k - 1, k (n - 1)]$$

Otro enfoque, el del valor P sugiere que la evidencia a favor o en contra de H_0 es:

$$P = P [f [k - 1, k (n - 1)] > f]$$

Cuanto más cercano a 1 esté el cociente F, más se inclina a aceptar la hipótesis nula. Al contrario, conforme el cociente F crece, se inclina más a rechazar la hipótesis nula y a aceptar la alternativa.

Tabla XXXVII. **Datos utilizados para el análisis estadístico de porcentaje de rendimiento de aceite fijo de la semilla de marañón en función del solvente utilizado**

Porcentaje de Rendimiento alcohol isopropílico	Porcentaje de Rendimiento acetato de etilo	Porcentaje de Rendimiento hexano
12,59	28,13	24,71
16,41	23,84	17,64
13,86	26,75	17,43
10,96	25,87	21,64
10,53	27,83	15,81

Fuente: elaboración propia, basada en la tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información (tablas XXXIV a la XXXVI).

Tabla XXXVIII. **Análisis de varianza de porcentaje de rendimiento de aceite fijo de la semilla de marañón en función del solvente utilizado**

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico para F
Entre grupos	463,504	2	231,752	31,6990283	3,88529383
Dentro de los grupos	87,73218	12	7,31101		
Total	551,236	14			

Fuente: elaboración propia, basada en análisis estadístico (tabla XXXVII).

Tabla XXXIX. **Datos utilizados para el análisis estadístico para perfil de ácidos grasos del aceite fijo de la semilla de marañón en función del solvente utilizado**

Ácido graso	Porcentaje de Rendimiento alcohol isopropílico	Porcentaje de Rendimiento acetato de etilo	Porcentaje de Rendimiento hexano
Oleico	62,67	62,93	62,31
Linoleico	20,03	18,87	20,09
Palmítico	10,85	10,95	9,67
Estearico	5,96	7,04	7,92
Oleico	62,67	62,93	62,31

Fuente: elaboración propia, basada en la tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información (tablas XXXIV a la XXXVI).

Tabla XL. **Análisis de varianza de porcentaje de perfil de ácidos grasos del aceite fijo de la semilla de marañón en función del solvente utilizado**

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico para F
Tratamientos	0,02906667	2	0,01453333	2.2E-05	4,25649473
Dentro de los grupos	5 945,50823	9	660,612025		
Total	5 945,53729	11			

Fuente: elaboración propia, basada en la tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información (tabla XL).

4. RESULTADOS

4.1. Rendimiento extractivo

En la siguiente tabla se detallan los métodos, solventes y porcentaje de rendimientos obtenidos.

Tabla XLI. Rendimiento de extracción de aceite fijo de marañón

Método	Solvente	Rendimiento porcentaje
Sohxlet	Hexano	36,95
	Alcohol isopropílico	21,97
	Acetato de etilo	33,26
Maceración dinámica	Hexano	26,51 ±1,72
	Alcohol isopropílico	12,87 ±2,38
	Acetato de etilo	17,23±0,93

Fuente: elaboración propia, tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información (tabla XVI).

4.2. Caracterización fisicoquímica

A continuación se encuentran los datos de la caracterización fisicoquímica obtenida

4.2.1. Densidad

En la siguiente tabla se detallan los solventes y la densidad del aceite obtenida a temperatura ambiente.

Tabla XLII. **Densidad aceite fijo de marañón a temperatura ambiente**

Solvente	Densidad [g/mL]
Hexano	0,681 ±0,007
Acetato de etilo	0,684 ±0,001
Alcohol isopropílico	0,687 ±0,004

Fuente: elaboración propia, procesamiento de la información (tabla XVII).

4.3. Solubilidad

A continuación se explicará la solubilidad del aceite fijo de Marañón.

Tabla XLIII. **Solubilidad del aceite fijo de marañón obtenido por 3 diferentes solventes en agua, etanol y cloroformo a temperatura ambiente**

Aceite obtenido por	Agua	Etanol	Cloroformo
Hexano	Insoluble	Insoluble	Soluble
Alcohol isopropílico	Insoluble	Insoluble	Soluble
Acetato de etilo	Insoluble	Insoluble	Soluble

Fuente: elaboración propia, basada en la recolección y ordenamiento de la información (tabla XI).

4.4. Índice de refracción

En la siguiente tabla se detalla el solvente y el índice de refracción obtenido a temperatura ambiente del aceite fijo de marañón.

Tabla XLIV. **Índice de refracción a temperatura ambiente del aceite fijo de marañón obtenido por 3 diferentes solventes**

Solvente	Índice de refracción
Hexano	1,465 ± 0,003
Acetato de etilo	1,467 ± 0,001
Alcohol isopropílico	1,468 ± 0,001

Fuente: elaboración propia, tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información (tabla XVII).

4.5. Índices de calidad

En la siguiente tabla se detallan los índices de calidad del aceite fijo de marañón.

Tabla XLV. **Índices de calidad aceite fijo de marañón**

Índices de calidad	
Acidez	2,694 ±0,279 mg KOH/g
Saponificación	182,30 ±6,64 mg KOH/g
Gomas	0,147 ±0,09 %
Peróxidos	1,239 ±0,055 meq O ₂ /kg
Presencia de jabón	360 ±19,89 ppm
Materia insaponificable	NEGATIVO
Prueba en frío	20 °C ±1 °C
Índice de yodo	83,0 ±2,59 cg I/g

Fuente: elaboración propia, tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información (tabla XXII).

Tabla XLVI. **Perfil de ácidos grasos aceite fijo de semilla de marañón obtenido por el método de maceración dinámica con acetato de etilo**

Núm.	Porcentaje área	Componente químico Nombre común	Clasificación
1	62,67	Ácido oleico	Ácido graso monoinsaturado
2	20,03	Ácido linoleico	Ácido graso poliinsaturado
3	10,85	Ácido palmítico	Ácido graso insaturado
4	5,96	Ácido esteárico	Ácido graso insaturado
5	0,26	Ácido esteárico	Ácido graso insaturado
6	0,22	Ácido 11- exadecenoico	Ácido graso monoinsaturado

Fuente: elaboración propia, procesamiento de la información (tablas XXXIV).

Tabla XLVII. **Clasificación de componentes químicos aceite fijo de semilla de marañón obtenido por el método de maceración dinámica con hexano**

Núm.	Porcentaje área	Componente químico	Clasificación
1	62,93	Ácido oleico	Ácido graso monoinsaturado
2	18,87	Ácido linoleico	Ácido graso poliinsaturado
3	10,95	Ácido palmítico	Ácido graso insaturado
4	7,04	Ácido esteárico	Ácido graso insaturado
5	0,22	Ácido esteárico	Ácido graso insaturado

Fuente: elaboración propia, tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información (tabla XXXV).

Tabla XLVIII. **Clasificación de componentes químicos aceite fijo de semilla de marañón obtenido por el método de maceración dinámica con alcohol isopropílico**

Núm.	Porcentaje Área	Componente químico	Clasificación
1	62,31	Ácido oleico	Ácido graso monoinsaturado
2	20,09	Ácido linoleico	Ácido graso poliinsaturado
3	9,67	Ácido palmítico	Ácido graso insaturado
4	7,92	Ácido esteárico	Ácido graso insaturado

Fuente: elaboración propia, tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información (tabla XXXVI).

5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

En la presente investigación se evaluó el rendimiento extractivo y caracterización fisicoquímica del aceite fijo de la semilla de marañón (*Anacardium occidentale* L.), obtenido por el método de maceración dinámica con reflujo, a nivel laboratorio.

La materia prima se obtuvo extrayendo la semilla de la nuez, en donde se aloja la misma. Debido a que la nuez es dura, se sometió a un proceso de secado para remover el agua y así ablandarla y facilitar la extracción de la semilla. Este proceso se llevó a cabo en la marmita de vapor por arrastre directo de la planta piloto, por un tiempo aproximado de 2 horas. Luego se procedió a abrir las nueces utilizando una pinza de tenaza y guantes gruesos como protección, puesto que la nuez contiene un aceite que quema e irrita la piel.

Para la extracción del aceite fijo, se realizó una preparación previa de la materia prima. Esta consistió en deshidratación y molienda. La materia prima tenía un porcentaje de humedad promedio de 11,4 %, según la tabla IV, por lo que se sometió a deshidratación en el secador de bandejas a una temperatura de 50 °C. Se tomaron 6 muestras de todo el lote con el fin de ir midiendo la humedad durante el proceso de secado, hasta obtener una humedad entre 5 y 6 % para todas las muestras; dichos valores se presentan en la tabla XXII. En seguida se redujo el tamaño de la semilla con un mortero y un pistilo. Las partículas obtenidas se hicieron pasar por un juego de tamices con un número de mesh de 10 y 12 del sistema ASTM y se procedió a realizar pruebas para la determinación del tamaño de partícula óptima. De aquí se dispuso utilizar las

partículas mayores a un diámetro de 2 mm, es decir que no pasen por el mesh 10 del sistema ASTM. Esto se debió a que las partículas de menor tamaño se deshacían al entrar en contacto con los solvente provocando así la formación de una pasta en el balón a la hora de rotaevaporar.

Para la determinación del tiempo óptimo de extracción se utilizó la técnica de espectrofotometría, la cual consiste en medir la absorbancia del solvente con forme avanza la extracción. La absorbancia del solvente fue medida cada media hora durante un tiempo promedio de 6 horas. Posteriormente, se graficaron los valores de la absorbancia obtenidos en función del tiempo de extracción. El tiempo óptimo se determinó en el punto de la gráfica, en donde la absorbancia se mantuvo constante. El tiempo óptimo de extracción según la tabla XXIII es de 4, 5,5 y 6 horas para el alcohol isopropílico, hexano y acetato de etilo respectivamente.

Determinó el tiempo óptimo de extracción y el tamaño de partícula óptimo, se procedió a la extracción del aceite fijo y a la medición del rendimiento extractivo del mismo con los 3 diferentes solventes utilizando una relación solvente: materia prima de 3:1. Como método de referencia se realizó una corrida con cada uno de los solventes con el método de Soxhlet, de donde se obtuvo rendimientos extractivos de 36,95 % para el hexano, 33,26 % para el acetato de etilo y 21,97 % para el alcohol isopropílico; los cuales se pueden observar en la tabla XXXVII de la sección de resultados.

Para la determinación del rendimiento extractivo, por el método de maceración dinámica con reflujo, se realizaron 5 tratamientos para cada solvente, siendo un total de 15 extracciones. Con el fin de no interferir en los resultados y conseguir aleatoriedad estadística, el orden de las 15 extracciones se determinó al azar y se puede observar en la sección de recolección y

ordenamiento de la información en la tabla VIII. Los porcentajes de rendimiento de extracción por el método de maceración dinámica con reflujo se pueden observar en la tabla XLI, en donde indica que el hexano presenta el mayor porcentaje de rendimiento con un $26,51 \pm 1,72$ por ciento. Le precede el acetato de etilo con un rendimiento de $17,23 \pm 0,93$ por ciento y por último, se encuentra el alcohol isopropílico con un $12,87 \pm 2,38$ por ciento.

En el análisis de varianzas de un factor para el porcentaje de rendimiento realizado, el cual se presenta en la sección de análisis estadístico resumido en las tablas XXXVII y XXXVIII, se puede observar que el valor F supera indiscutiblemente al valor crítico para F. Por esta razón, es posible descartar la hipótesis nula del rendimiento extractivo, la cual afirma que el solvente utilizado no afecta el rendimiento de la extracción de aceite fijo de la semilla de la nuez de marañón (*Anacardium occidentale* L.). Por el otro lado, se acepta la hipótesis alternativa que afirma que el solvente utilizado afecta el rendimiento de la extracción de aceite fijo de la semilla de la nuez de marañón (*Anacardium occidentale* L.).

Después de la extracción del aceite fijo de la semilla de marañón, se inició la caracterización fisicoquímica del mismo. Dentro de las características físicas medidas en este informe se encuentran la densidad, solubilidad e índice de refracción medidos a temperatura ambiente. Según los resultados de estas propiedades presentados en las tablas XLII, XLIII y XLIV, es posible observar que no difieren significativamente según el solvente utilizado.

En las pruebas de solubilidad realizadas a temperatura ambiente fue posible observar que el aceite fijo de la semilla de marañón es soluble en cloroformo, pero insoluble en agua y etanol, lo cual se presenta en la tabla XLIII de la sección de resultados.

La caracterización química del aceite fijo de la semilla de marañón (*Anacardium occidentale L.*) obtenido en este estudio, consiste en los índices de calidad y en la determinación de los ácidos grasos presentes en el mismo.

En la tabla XLV de la sección de resultados, se muestran los siguientes índices de calidad: acidez, saponificación, gomas, peróxidos, presencia de jabón, materia Insaponificable, prueba en frío e índice de yodo.

El índice de acidez del aceite extraído es de $2,694 \pm 0,279$ mg KOH/g es decir, se necesitan aproximadamente 2,694 miligramos de hidróxido de potasio para neutralizar los ácidos grasos libres en un gramo de aceite.

El índice de saponificación tiene un valor de $182,30 \pm 6,64$ mg KOH/g, en otras palabras, se requieren aproximadamente 182,3 miligramos de hidróxido de potasio para saponificar 1 g de aceite. Este valor elevado indica la existencia de ácidos grasos libres de cadena larga en el aceite. Dicho valor se encuentra entre el rango permitido por la AOCS, el cual es de 180-196 mg KOH/g de aceite.

La cantidad de gomas presentes en el aceite es de $0,147 \pm 0,09$ por ciento, lo que indica una cantidad insignificante de fosfátidos y sustancias pegajosas que no interfieren de forma clara con la acidez del aceite. Sin embargo, para la refinación del aceite es necesario eliminar dicho porcentaje.

El índice de peróxidos corresponde a un valor de $1,239 \pm 0,055$ miliequivalentes de oxígeno peróxido por kilogramo de aceite. Esto indica que se necesitan aproximadamente 1,239 miliequivalentes de oxígeno peróxido para oxidar un kilogramo de aceite. Los aceites frescos deben tener valores menores a 1 pues no se han oxidado; sin embargo, esta prueba se realizó un

tiempo después de haber sido extraído el aceite por lo que ya había estado almacenado.

Según el índice de presencia de jabón se determinó que existen $360 \pm 19,89$ partes por millón de oleato de sodio en el aceite. La prueba de materia insaponificable resultó negativa debido a que a la hora de agregar éter y agitar vigorosamente, no se separaron las dos fases. La prueba en frío determinó la temperatura a la que aparecen cristales, la cual fue de $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

El último índice de calidad que se determinó fue el índice de yodo el cual está relacionado con el grado de insaturación del aceite. El valor promedio y su desviación es de $83,0 \pm 2,59$ centigramos de yodo por gramo de muestra, lo que lleva a clasificar el aceite extraído como un aceite no secante. El índice de yodo obtenido se encuentra entre el rango de valores establecidos por la AOCS, los cuales son de 79-89 centigramos de yodo por gramo de muestra.

En las tablas XLVI, XLVII y XLVIII es posible observar la composición química de los aceites obtenidos con acetato de etilo, hexano y alcohol isopropílico respectivamente. Es evidente que en los 3 aceites analizados el componente mayoritario es el ácido oleico (ácido (Z)-9-octadecenoico) con un tiempo de retención en común de 34,105 minutos y una proporción de 62,67 %, 62,93 % y 62,31 % para el acetato de etilo, hexano y alcohol isopropílico respectivamente. El segundo ácido graso en mayor proporción se encuentra el ácido linoleico (ácido (9Z, 12Z)-9, 12- octadecadienóico) con un tiempo de retención de 34,960 y una proporción de 20,03 %, 18,87 % y 20,09 % para el acetato de etilo, hexano y alcohol isopropílico respectivamente. El tercer componente es el ácido palmítico con un tiempo de retención de 30,593 minutos y una proporción de 10,85 %, 10,95 % y 9,67 % para el acetato de etilo, hexano y alcohol isopropílico respectivamente. Por último, como componente

minoritario se encuentra el ácido esteárico con un tiempo de retención de 33,277 minutos y una proporción de 5,96 %, 7,04 % y 7,92 % para el aceite obtenido acetato de etilo, hexano y alcohol isopropílico respectivamente.

En las tablas XXXIX y XL de la sección de análisis estadístico se presenta el análisis de varianzas de un factor para el perfil de ácidos grasos, aquí es posible observar que el valor F se encuentra dentro del al valor crítico para F. A partir de este resultado es posible aceptar la hipótesis nula del perfil de ácidos grasos, la cual afirma que el solvente utilizado no afecta el perfil de ácidos grasos de aceite fijo de la semilla de la nuez de marañón (*Anacardium occidentale* L.). Por otra parte, se descarta la hipótesis alternativa que afirma que el solvente utilizado afecta el perfil de ácidos grasos de aceite fijo de la semilla de la nuez de marañón (*Anacardium occidentale* L.).

CONCLUSIONES

1. Sí existe diferencia significativa en el rendimiento extractivo del aceite fijo de la nuez de marañón (*Anacardium occidentale* L.) según el método utilizado, siendo el mejor el método de Soxhlet utilizando hexano.
2. Las propiedades físicas: densidad, índice de refracción y solubilidad del aceite fijo de la nuez de marañón (*Anacardium occidentale* L.), no difieren significativamente según el solvente utilizado.
3. Los índices de calidad para el aceite fijo de marañón obtenidos por el método de maceración dinámica con reflujo son: acidez: $2,694 \pm 0,279$ mg KOH/g; saponificación: $182,30 \pm 6,64$ mg KOH/g; gomas $0,147 \pm 0,09$ %, peróxidos: $1,239 \pm 0,055$ meq O_2 /kg, presencia de jabón: $360 \pm 19,89$ ppm; materia insaponificable: negativa; prueba en frío: $20 \text{ }^\circ\text{C} \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$; yodo: $83,0 \pm 2,59$ cg l/g.
4. Los ácidos grasos presentes en el aceite fijo de la nuez de marañón (*Anacardium occidentale* L.), extraído por el método de maceración dinámica con reflujo son: oleico, linoleico, palmítico y esteárico.
5. El porcentaje de rendimiento de la extracción de aceite fijo de la semilla de la nuez de marañón (*Anacardium occidentale* L.) sí está influenciado por el solvente utilizado.

6. El perfil de ácidos grasos de aceite fijo de la semilla de la nuez de marañón (*Anacardium occidentale* L.) no está influenciado por el solvente utilizado.

RECOMENDACIONES

1. Utilizar guantes de neopreno al abrir la nuez para la obtención de la semilla de marañón, debido a que los guantes de látex no resisten el aceite altamente corrosivo que contiene la nuez.
2. Con el fin de alcanzar un mayor tiempo de almacenamiento de la nuez secarla al Sol y para la semilla, deshidratarla previamente al almacenado.
3. Asegurarse de no adicionar el polvo proveniente de la molienda de la materia prima en el balón de extracción, con el fin de obtener un aceite puro a la hora de rotaevaporar.
4. Al finalizar la extracción realizada por el método de maceración dinámica con reflujo, dejar reposar la materia prima y el solvente hasta que se separen las dos fases con el objetivo de hacer más eficaz el filtrado y la rotaevaporación.

BIBLIOGRAFÍA

1. AOCS Ca 5a-40. *Official method free fatty acids, sampling and analysis of commercial fats and oils*. Urbana, Illinois, USA: The American Oils Chemist's Society. 1997.
2. _____. *Official method iodine value of fats and oils Wijs Method, sampling and analysis of commercial fats and oils*. Urbana, Illinois USA: The American Oils Chemist's Society.: 1997.
3. _____. *Official method saponification value, sampling and analysis of commercial fats and oils*. Urbana, Illinois USA: The American Oils Chemist's Society. 2003.
4. _____. *Official method peroxide value acetic acid (chloroform method), sampling and analysis of commercial fats and oils*. Urbana, Illinois. USA: The American Oils Chemist's Society, 2003.
5. *Áreas aptas para el cultivo del marañón en Guatemala*. [en línea]. <<http://www.zonu.com/fullsize/2011-11-24-15023/Areas-aptas-para-el-cultivo-del-Maranon-en-Guatemala.html>>. [Consulta: 11 de octubre 2014].
6. GENNARO, Alfonso R. *Remington farmacia*. 20a ed. Buenos Aires: Médica Panamericana, 2003. Volumen I, 1408 p.

7. KUMAR, P. Senthil; et al. *Experimentation on solvent extraction of polyphenols from natural waste.* [en línea]. <<http://web.b.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=2&sid=648d8278-65ea-404c-9825-ed0c9fe4dc31%40sessionmgr114&hid=105>>. [Consulta: agosto de 2009].
8. LAFONT, Jennifer J. *Extracción y caracterización fisicoquímica del aceite de la semilla (almendra) del marañón (anacardium occidentale l.).* [en línea]. <<http://www.scielo.cl/pdf/infotec/v22n1/art07.pdf>>. [Consulta: 4 de mayo de 2010].
9. LEÓN, Jorge. *Marañón, cajú, merey, Anacardium occidentale.*” En: LEÓN, Jorge. *Botánica de los cultivos tropicales.* 3a ed. San José, C.R.: IICA, 2000. 282 p.
10. MÉRIDA MERÉ, Mario. *Lixiviación.* Material gráfico proyectable. Guatemala, 2013. 73 diapositivas.
11. VOET, Donald; et al. *Fundamentos de bioquímica.* 2a ed. Buenos Aires: Médica Panamericana, 2009. 1264 p.
12. Wikipedia, La Enciclopedia Libre. *Anacardium occidentale.* [en línea]. <http://es.wikipedia.org/wiki/Anacardium_occidentale>. [Consulta: 11 de octubre 2014].

APÉNDICES

Apéndice 1. Preparación de la nuez en la marmita



Fuente: fotografía propia, tomada en el laboratorio Investigación de Extractos Vegetales.

Apéndice 2. Abertura de la nuez



Fuente: fotografía propia, tomada en el laboratorio Investigación de Extractos Vegetales.

Apéndice 3. **Extracción aceite fijo por el método Soxhlet**



Fuente: fotografía propia, tomada en el laboratorio Investigación de Extractos Vegetales.

Apéndice 4. **Extracción aceite fijo por el método de Maceración dinámica con reflujo**



Fuente: fotografía propia, tomada en el laboratorio Investigación de Extractos Vegetales.

Apéndice 5. Filtrado



Fuente: fotografía propia, tomada en el laboratorio Investigación de Extractos Vegetales.

Apéndice 6. Rotaevaporación



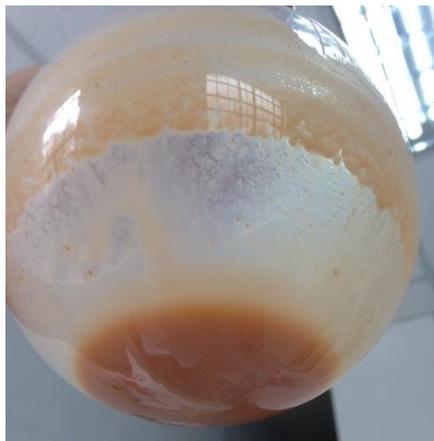
Fuente: fotografía propia, tomada en el laboratorio Investigación de Extractos Vegetales.

Apéndice 7. **Aceite fijo de semilla de marañón obtenido con hexano**



Fuente: fotografía propia, tomada en el laboratorio Investigación de Extractos Vegetales.

Apéndice 8. **Aceite fijo de semilla de marañón obtenido con acetato de etilo**



Fuente: fotografía propia, tomada en el laboratorio Investigación de Extractos Vegetales.

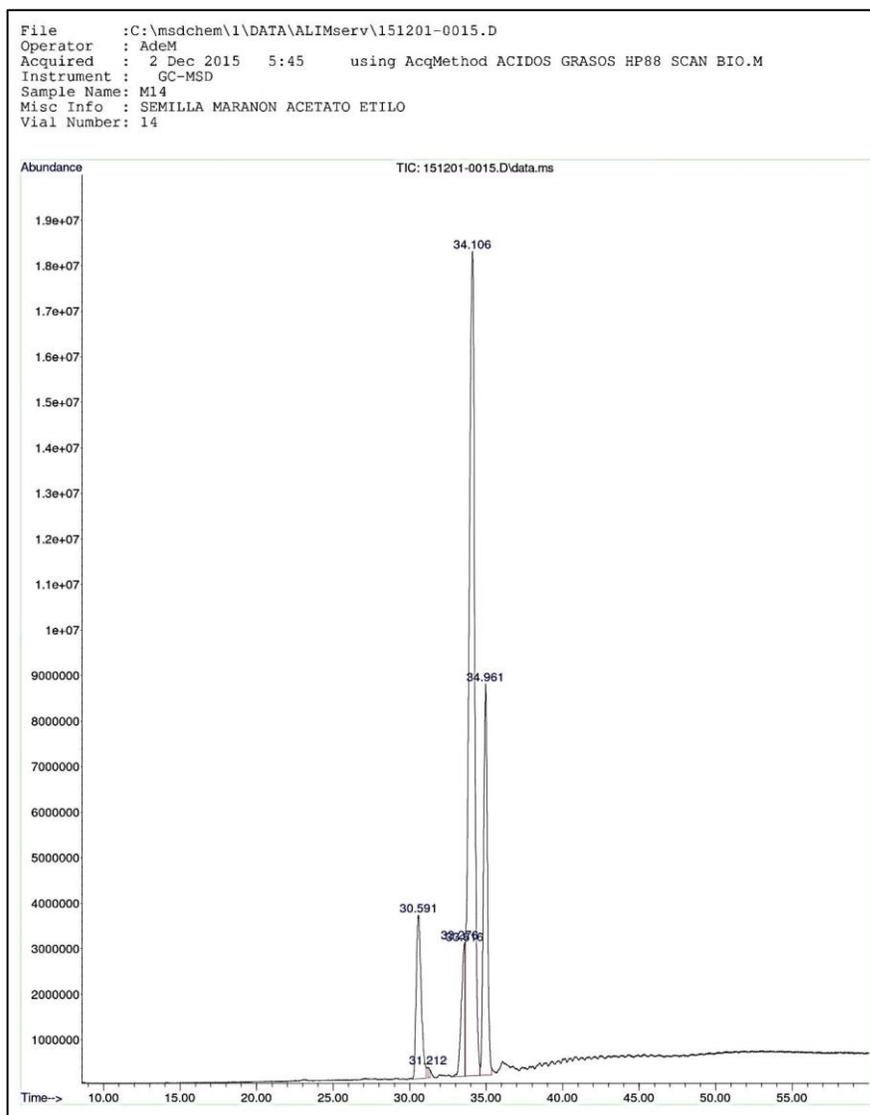
Apéndice 9. **Filtrado después de rotaevaporado**



Fuente: fotografía propia, tomada en el laboratorio Investigación de Extractos Vegetales.

ANEXOS

Anexo 1. Cromatografía de gases aceite fijo extraído acetato de etilo



Fuente: base de datos del NIST, Laboratorio de Instrumentación Química Avanzada, UVG.

Anexo 2. **Ácidos grasos presentes en el aceite extraído con acetato de etilo**

LIQA Library Search Report

Data Path : C:\msdchem\1\DATA\ALIMserv\
 Data File : 151201-0015.D
 Title :
 Acq On : 2 Dec 2015 5:45
 Operator : AdeM
 Sample : M14
 Misc : SEMILLA MARANON ACETATO ETILO
 ALS Vial : 14 Sample Multiplier: 1

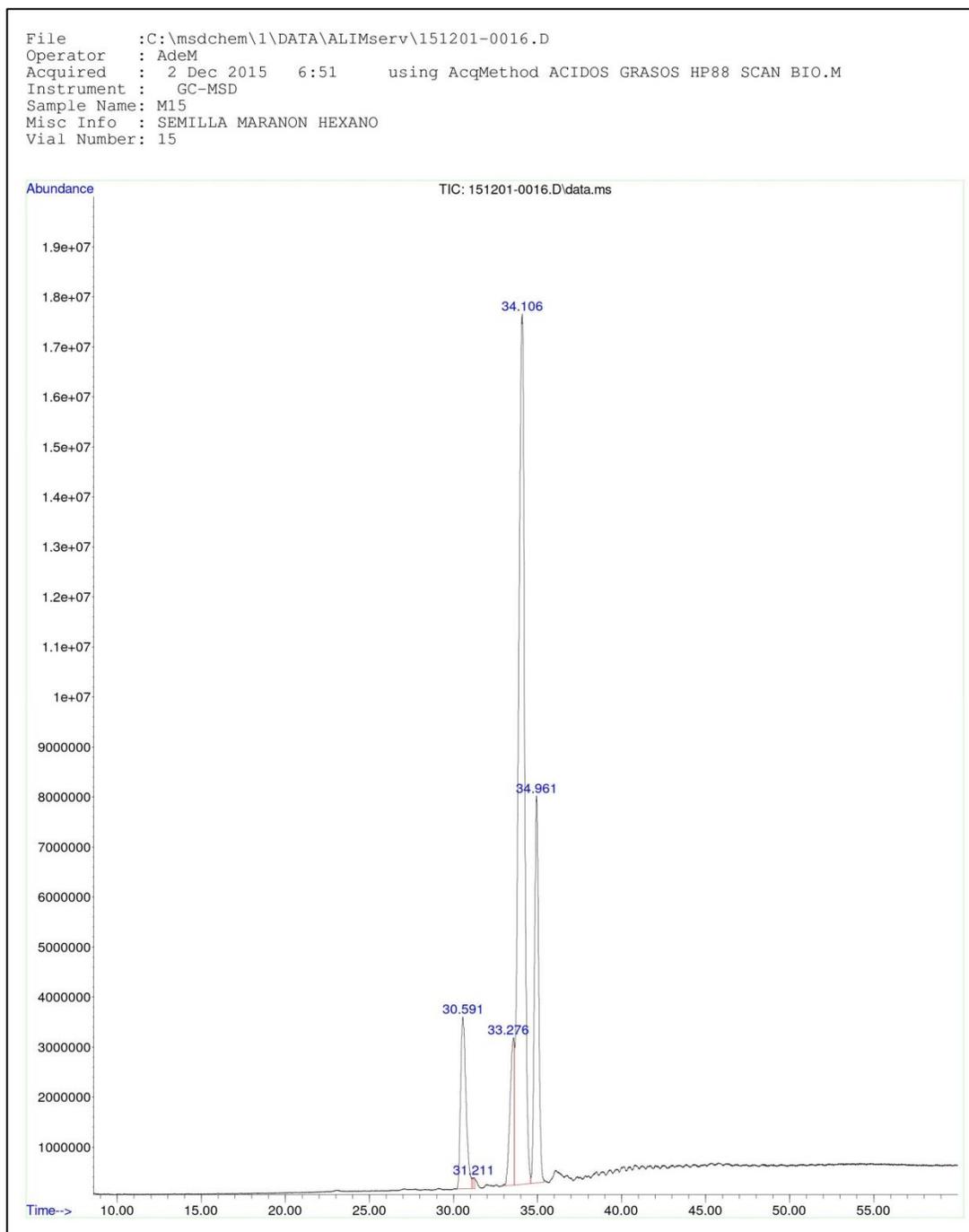
Search Libraries: C:\Database\NIST05a.L Minimum Quality: 0

Unknown Spectrum: Apex
 Integration Events: ChemStation Integrator - events.e

Pk#	RT	Area%	Library/ID	Ref#	CAS#	Qual
1	30.593	10.85	C:\Database\NIST05a.L Hexadecanoic acid, methyl ester	105644	000112-39-0	97
			Pentadecanoic acid, 14-methyl-, methyl ester	105662	005129-60-2	97
			Hexadecanoic acid, methyl ester	105639	000112-39-0	96
2	31.212	0.22	C:\Database\NIST05a.L 11-Hexadecenoic acid, methyl ester	104135	055000-42-5	97
			9-Hexadecenoic acid, methyl ester, (Z)-	104152	001120-25-8	78
			Hexadecanoic acid, methyl ester	105646	000112-39-0	70
3	33.277	5.96	C:\Database\NIST05a.L Octadecanoic acid, methyl ester	123709	000112-61-8	99
			Octadecanoic acid, methyl ester	123700	000112-61-8	98
			Octadecanoic acid, methyl ester	123708	000112-61-8	97
4	33.618	0.26	C:\Database\NIST05a.L Octadecanoic acid, methyl ester	123709	000112-61-8	99
			Octadecanoic acid, methyl ester	123708	000112-61-8	98
			Octadecanoic acid, methyl ester	123700	000112-61-8	98
5	34.105	62.67	C:\Database\NIST05a.L 9-Octadecenoic acid, methyl ester, (E)-	122326	001937-62-8	99
			7-Octadecenoic acid, methyl ester	122298	057396-98-2	99
			9-Octadecenoic acid (Z)-, methyl ester	122323	000112-62-9	99
6	34.960	20.03	C:\Database\NIST05a.L 9,12-Octadecadienoic acid (Z,Z)-, methyl ester	121106	000112-63-0	99
			10,13-Octadecadienoic acid, methyl ester	121100	056554-62-2	99
			9,12-Octadecadienoic acid, methyl ester, (E,E)-	121112	002566-97-4	99

Fuente: base de datos del NIST, Laboratorio de Instrumentación Química Avanzada, UVG.

Anexo 3. Cromatografía de gases aceite fijo extraído con hexano



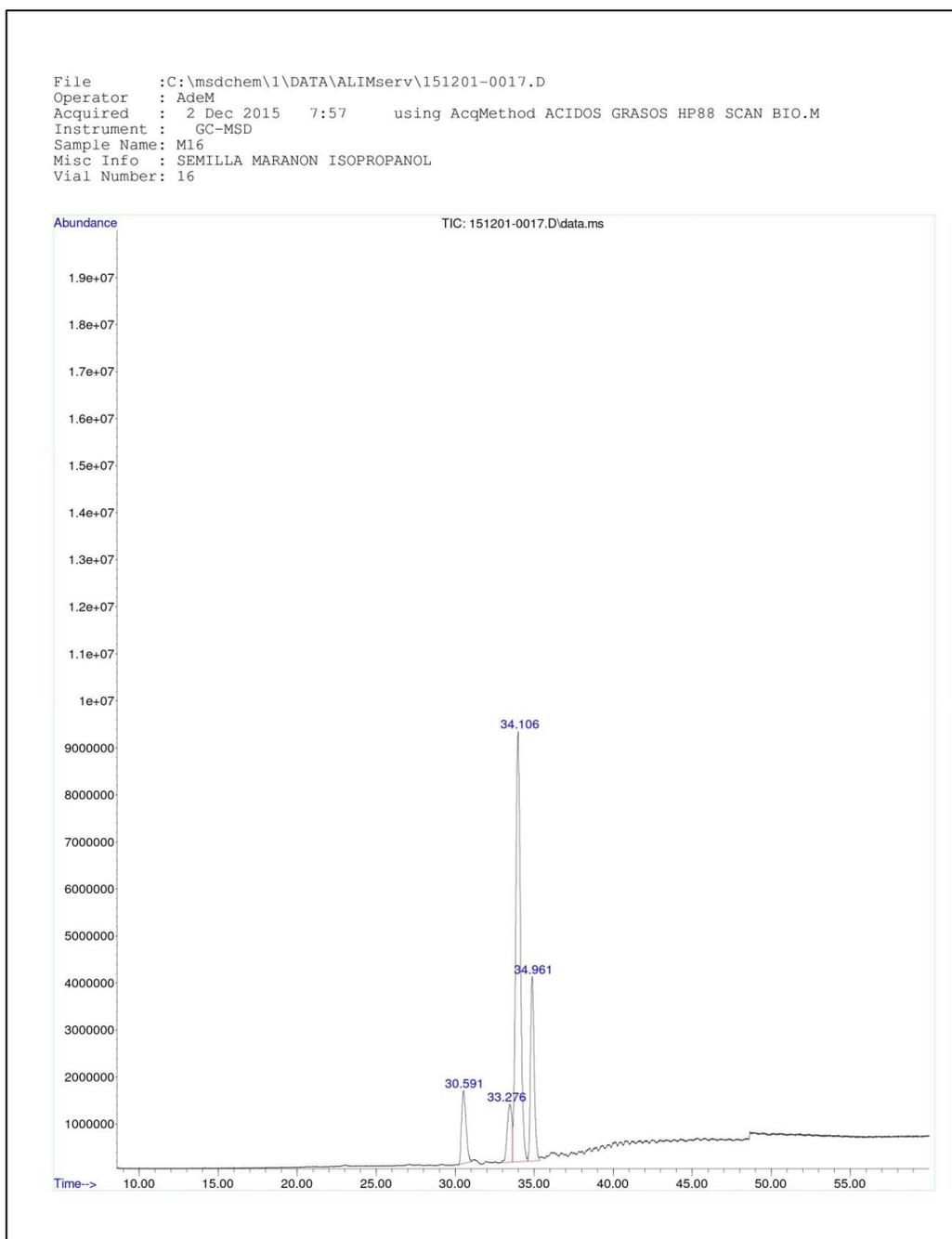
Fuente: base de datos del NIST, Laboratorio de Instrumentación Química Avanzada, UVG.

Anexo 4. Ácidos grasos presentes en el aceite extraído con hexano

LIQA Library Search Report						
Data Path : C:\msdchem\1\DATA\ALIMserv\ Data File : 151201-0016.D Title : Acq On : 2 Dec 2015 6:51 Operator : AdeM Sample : M15 Misc : SEMILLA MARANON HEXANO ALS Vial : 15 Sample Multiplier: 1						
Search Libraries: C:\Database\NIST05a.L Minimum Quality: 0						
Unknown Spectrum: Apex Integration Events: ChemStation Integrator - events.e						
PK#	RT	Area%	Library/ID	Ref#	CAS#	Qual
1	30.593	10.95	C:\Database\NIST05a.L Hexadecanoic acid, methyl ester Tridecanoic acid, methyl ester Hexadecanoic acid, methyl ester	105644 77299 105639	000112-39-0 001731-88-0 000112-39-0	97 96 96
2	31.212	0.22	C:\Database\NIST05a.L 9-Hexadecenoic acid, methyl ester, (Z)- 11-Hexadecenoic acid, methyl ester Pentadecanoic acid, methyl ester	104152 104135 96270	001120-25-8 055000-42-5 007132-64-1	98 95 55
3	33.277	7.04	C:\Database\NIST05a.L Octadecanoic acid, methyl ester Octadecanoic acid, methyl ester Octadecanoic acid, methyl ester	123709 123700 123708	000112-61-8 000112-61-8 000112-61-8	99 98 98
4	34.105	62.93	C:\Database\NIST05a.L 7-Octadecenoic acid, methyl ester 9-Octadecenoic acid, methyl ester, (E)- 9-Octadecenoic acid (Z)-, methyl ester	122298 122326 122323	057396-98-2 001937-62-8 000112-62-9	99 99 99
5	34.960	18.87	C:\Database\NIST05a.L 9,12-Octadecadienoic acid (Z,Z)-, methyl ester 9,12-Octadecadienoic acid, methyl ester, (E,E)- 8,11-Octadecadienoic acid, methyl ester	121107 121112 121095	000112-63-0 002566-97-4 056599-58-7	99 99 99

Fuente: base de datos del NIST, Laboratorio de Instrumentación Química Avanzada, UVG.

Anexo 5. Cromatografía de gases aceite fijo extraído con alcohol isopropílico



Fuente: base de datos del NIST, Laboratorio de Instrumentación Química Avanzada, UVG.

Anexo 6. **Acidos grasos presentes en el aceite extraído con alcohol isopropílico**

LIQA Library Search Report						
Data Path : C:\msdchem\1\DATA\ALIMserv\ Data File : 151201-0017.D Title : Acq On : 2 Dec 2015 7:57 Operator : AdeM Sample : M16 Misc : SEMILLA MARANON ISOPROPANOL ALS Vial : 16 Sample Multiplier: 1						
Search Libraries: C:\Database\NIST05a.L Minimum Quality: 0						
Unknown Spectrum: Apex Integration Events: ChemStation Integrator - events.e						
Pk#	RT	Area%	Library/ID	Ref#	CAS#	Qual
1	30.593	9.67	C:\Database\NIST05a.L Hexadecanoic acid, methyl ester	105644	000112-39-0	97
			Pentadecanoic acid, 14-methyl-, methyl ester	105662	005129-60-2	97
			Hexadecanoic acid, methyl ester	105639	000112-39-0	96
2	33.277	7.92	C:\Database\NIST05a.L Octadecanoic acid, methyl ester	123709	000112-61-8	99
			Octadecanoic acid, methyl ester	123700	000112-61-8	98
			Octadecanoic acid, methyl ester	123708	000112-61-8	97
3	34.105	62.31	C:\Database\NIST05a.L 9-Octadecenoic acid (Z)-, methyl ester	122323	000112-62-9	99
			7-Octadecenoic acid, methyl ester	122298	057396-98-2	99
			10-Octadecenoic acid, methyl ester, (E)-	122330	013038-45-4	99
4	34.960	20.09	C:\Database\NIST05a.L 9,12-Octadecadienoic acid (Z,Z)-, methyl ester	121105	000112-63-0	99
			8,11-Octadecadienoic acid, methyl ester	121095	056599-58-7	99
			10,13-Octadecadienoic acid, methyl ester	121100	056554-62-2	99

Fuente: base de datos del NIST, Laboratorio de Instrumentación Química Avanzada, UVG.