



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

**CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA Y EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO DE ACEITE  
FIJO DE CACAO CRIOLLO (*Theobroma cacao* L.) A ESCALA LABORATORIO UTILIZANDO  
LOS MÉTODOS DE MACERACIÓN ESTÁTICA Y MACERACIÓN DINÁMICA CON REFLUJO**

**Iván Eduardo De León Barrientos**

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

Guatemala, marzo de 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**CARACTERIZACIÓN FISCOQUÍMICA Y EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO DE ACEITE  
FIJO DE CACAO CRIOLLO (*Theobroma cacao* L.) A ESCALA LABORATORIO UTILIZANDO  
LOS MÉTODOS DE MACERACIÓN ESTÁTICA Y MACERACIÓN DINÁMICA CON REFLUJO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**IVÁN EDUARDO DE LEÓN BARRIENTOS**

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

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO QUÍMICO**

GUATEMALA, MARZO 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**

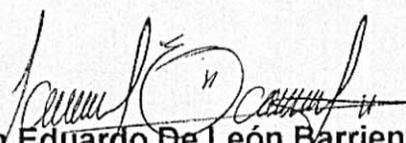
DECANO	Angel Roberto Sic García (a.i.)
EXAMINADOR	Ing. Otto Raúl de León de Paz
EXAMINADOR	Ing. César Ariel Villela Rodas
EXAMINADOR	Ing. Víctor Herbert de León Morales
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

## HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

**CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA Y EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO DE ACEITE FIJO DE CACAO CRIOLLO (*Theobroma cacao* L.) A ESCALA LABORATORIO UTILIZANDO LOS MÉTODOS DE MACERACIÓN ESTÁTICA Y MACERACIÓN DINÁMICA CON REFLUJO**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha 28 de julio de 2014.

  
Iván Eduardo De León Barrientos



CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



Guatemala, 22 de Octubre de 2015

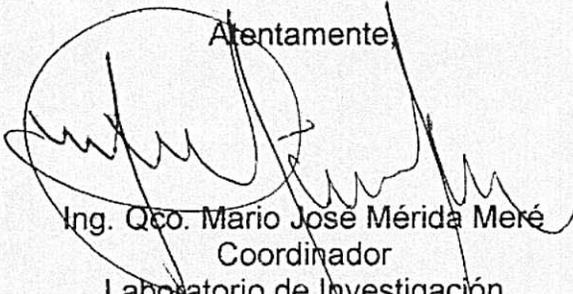
Ingeniero  
Victor Manuel Monzón Valdez  
Director Escuela de Ingeniería Química  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos de Guatemala  
Presente.

Ingeniero Monzón:

Por medio de la presente HACEMOS CONSTAR que hemos revisado y dado nuestra aprobación al Informe Final del trabajo de graduación titulado "CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA Y EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO DE ACEITE FIJO DE CACAO CRIOLLO (*Theobroma cacao* L.) A ESCALA LABORATORIO UTILIZANDO LOS MÉTODOS DE MACERACIÓN ESTÁTICA Y MACERACIÓN DINÁMICA CON REFLUJO" del estudiante de Ingeniería Química Iván Eduardo de León Barrientos quien se identifica con el carné número 2010-20430.

Sin otro particular me suscribo de usted.

Atentamente,

  
Ing. Qco. Mario José Mérida Meré  
Coordinador  
Laboratorio de Investigación  
de Extractos Vegetales -LIEXVE-  
Asesor



  
Inga. Qca. Telma Maricela Cano Morales  
Directora  
Centro de Investigaciones de Ingeniería / CII  
Asesora





Guatemala, 28 de julio de 2014  
Ref. EIQ.TG-DI.043.2014

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

Estimado Ingeniero Monzón:

Como consta en el Registro de Evaluación del diseño de investigación EIQ-REG-TG-002, correlativo **041-2014**, le informo que reunidos los Miembros de la Terna nombrada por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del:

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE TRABAJO DE GRADUACIÓN**  
**-Modalidad Seminario de Investigación-**

Solicitado por el estudiante universitario: **Iván Eduardo De León Barrientos**.  
Identificado con número de carné: **2010-20430**.  
Previo a optar al título de **INGENIERO QUÍMICO**.

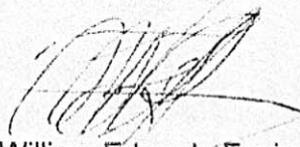
Siguiendo los procedimientos de revisión interna de la Escuela de Ingeniería Química, los Miembros de la Terna han procedido a **APROBARLO** con el siguiente título:

**CARACTERIZACIÓN FISICOQUÍMICA Y EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO DE ACEITE FIJO DE CACAO CRIOLLO (*Theobroma cacao* L.) A ESCALA LABORATORIO UTILIZANDO LOS MÉTODOS DE MACERACIÓN ESTÁTICA Y MACERACIÓN DINÁMICA CON REFLUJO**

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

Se autoriza al estudiante, proceder con la fase de ejecución del proyecto de investigación, del trabajo de graduación de acuerdo al cronograma aprobado.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

  
Ing. William Eduardo Fagiani Cruz  
COORDINADOR DE TERNA  
Tribunal de Revisión  
Trabajo de Graduación



C.c.: archivo





Ref.EIQ.TG.016.2016

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 el estudiante, **IVÁN EDUARDO DE LEÓN BARRIENTOS** titulado: **"CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA Y EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO DE ACEITE FIJO DE CACAO CRIOLLO (*THEOBROMA CACAO* L.) A ESCALA LABORATORIO UTILIZANDO LOS MÉTODOS DE MACERACIÓN ESTÁTICA Y MACERACIÓN DINÁMICA CON REFLUJO"**. 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, marzo 2016

Cc: Archivo  
CSWD/ale

Universidad de San Carlos  
De Guatemala

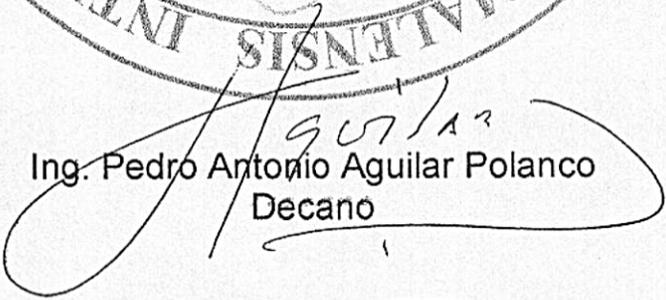


Facultad de Ingeniería  
Decanato

Ref. DTG.133.2016

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: **CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA Y EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO DE ACEITE FIJO DE CACAO CRIOLLO (Theobroma cacao L.) A LA ESCALA LABORATORIO UTILIZANDO LOS MÉTODS DE MACERACIÓN ESTÁTICA Y MACERACIÓN DINÁMICA CON REFLUJO**, presentado por el estudiante universitario: **Iván Eduardo De León Barrientos**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

  
Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco  
Decano

Guatemala, marzo 2016

/cc



## **ACTO QUE DEDICO A:**

<b>Dios</b>	Por ser mi fortaleza en todo momento y permitirme cumplir mis metas.
<b>Mis padres</b>	Nora Aracely Barrientos y Hugo Eduardo De León Flores, por dedicar su vida en brindarme todo lo necesario y ser mis ejemplos a seguir.
<b>Mi hermana</b>	Ana Gabriela De León Barrientos, por ser parte importante en mi vida y hacer de ella toda una aventura.
<b>Mi abuela</b>	María Juana Flores, por ser parte importante en mi vida y un gran ejemplo a seguir.
<b>Mi novia</b>	María Alejandra Estrada Santizo, por brindarme su apoyo, cariño y respeto en todo momento.
<b>Mis amigos</b>	Por hacer de mi vida universitaria una de las mejores etapas en mi vida.
<b>Universidad de San Carlos de Guatemala</b>	Por brindarme educación de primer nivel.
<b>Mis catedráticos</b>	Por su tiempo, dedicación y paciencia al compartir sus conocimientos.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>Dios</b>	Por dotarme de sabiduría en todo momento de mi vida y permitirme culminar esta meta.
<b>Universidad de San Carlos de Guatemala</b>	Por su ardua labor en brindar educación de primer nivel.
<b>Facultad de Ingeniería</b>	Por formarme como profesional.
<b>LIEXVE</b>	Por permitirme utilizar sus instalaciones, mobiliario, equipo, reactivos y recurso humano en la realización de este trabajo de graduación.
<b>Mi mamá</b>	Nora Aracely Barrientos, por ser ejemplo de lucha y superación.
<b>Mi papá</b>	Hugo Eduardo De León Flores, por ser ejemplo de responsabilidad y entrega.
<b>Mi hermana</b>	Ana Gabriela De León Barrientos, por apoyarme en todo momento.
<b>Mi novia</b>	María Alejandra Estrada Santizo, por todo el cariño y apoyo que me brindó a lo largo de mi vida universitaria.

**Mis asesores**

Ingenieros químicos: Telma Maricela Cano Morales y Mario José Mérida Meré, por brindarme el apoyo y el conocimiento necesario en la elaboración de este trabajo de graduación.

**Mi revisor**

Ingeniero químico William Fagiani, por su compromiso, entrega y tiempo para la revisión de este trabajo de graduación.

**Mis amigos**

Por darle diversión a mi vida universitaria.

**Mis catedráticos**

Por todo el conocimiento brindado.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS .....	IX
GLOSARIO .....	XI
RESUMEN.....	XV
OBJETIVOS.....	XVII
Hipótesis .....	XVIII
INTRODUCCIÓN .....	XIX
1.    ANTECEDENTES .....	1
2.    MARCO TEÓRICO.....	3
2.1.    Aceites y grasas .....	3
2.1.1.    Ácidos grasos .....	3
2.1.2.    Ácidos grasos presentes en el cacao .....	4
2.1.2.1.    Ácido laúrico .....	4
2.1.2.2.    Ácido mirísitico.....	5
2.1.2.3.    Ácido linolénico.....	5
2.1.2.4.    Ácido linoléico.....	6
2.1.2.5.    Ácido palmítico .....	7
2.1.2.6.    Ácido oléico .....	7
2.1.2.7.    Ácido esteárico .....	8
2.1.3.    Caracterización de los aceites .....	8
2.1.3.1.    Índice de yodo .....	9
2.1.3.2.    Índice de saponificación .....	9
2.1.3.3.    Índice de acidez.....	9

	2.1.3.4.	Materia prima insaponificable.....	10
	2.1.3.5.	Índice de peróxidos .....	10
	2.1.3.6.	Determinación de gomas.....	10
	2.1.3.7.	Prueba de frío.....	10
2.2.		Extracción del aceite fijo.....	11
	2.2.1.	Expresión en frío .....	11
	2.2.2.	Lixiviación.....	11
	2.2.3.	Métodos de extracción .....	11
	2.2.3.1.	Maceración estática .....	12
	2.2.3.2.	Maceración dinámica .....	12
	2.2.3.3.	Maceración estática con reflujo .....	13
	2.2.3.4.	Maceración dinámica con reflujo .....	13
	2.2.3.5.	Técnica Soxhlet.....	14
	2.2.4.	Variables en el proceso de extracción.....	14
	2.2.4.1.	Variable independiente: temperatura ...	14
	2.2.4.2.	Variable independiente: método extractivo .....	15
	2.2.4.3.	Variable independiente: tamaño de partícula.....	15
	2.2.4.4.	Variable independiente: agitación .....	15
	2.2.4.5.	Variable independiente: pH .....	15
	2.2.4.6.	Variable independiente: naturaleza del solvente .....	16
	2.2.4.7.	Variable dependiente: tiempo de extracción .....	16
	2.2.4.8.	Variable dependiente: rendimiento de extracción .....	17
2.3.		Cacao.....	17
	2.3.1.	Historia del cacao.....	18

2.3.2.	Variedades de cacao .....	18
2.3.2.1.	Cacao criollo .....	19
2.3.2.2.	Cacao forastero .....	19
2.3.2.3.	Cacao trinitario.....	19
2.3.3.	El árbol de cacao .....	19
2.3.3.1.	Raíces .....	19
2.3.3.2.	Tronco .....	20
2.3.3.3.	Hojas .....	20
2.3.4.	Cultivo de cacao .....	21
2.3.4.1.	Temperatura de cultivo .....	22
2.3.4.2.	Agua de cultivo .....	22
2.3.4.3.	El viento en los cultivos .....	23
2.3.4.4.	Sombra en el cultivo .....	24
3.	DISEÑO METODOLÓGICO .....	25
3.1.	Localización.....	25
3.2.	Variables.....	25
3.2.1.	Variables independientes .....	25
3.2.2.	Variables dependientes .....	26
3.3.	Delimitación del campo de estudio .....	26
3.4.	Diseño experimental .....	26
3.5.	Recurso humano disponible .....	27
3.6.	Recurso material disponible .....	27
3.6.1.	Materia prima.....	27
3.6.2.	Cristalería .....	27
3.6.3.	Reactivos.....	28
3.6.4.	Equipos.....	28
3.7.	Técnica cuantitativa.....	28
3.7.1.	Pretratamiento de las semillas de cacao .....	28

3.7.2.	Extracción de aceite fijo por el método Soxhlet y determinación del tiempo óptimo extractivo por espectrofotometría UV-VIS.....	29
3.7.3.	Extracción de aceite fijo por maceración estática con reflujo.....	30
3.7.4.	Extracción de aceite fijo por maceración dinámica con reflujo .....	31
3.7.5.	Índice de yodo .....	31
3.7.6.	Índice de saponificación .....	34
3.7.7.	Índice de acidez .....	35
3.7.8.	Materia prima insaponificable.....	37
3.7.9.	Índice de peróxidos .....	38
3.7.10.	Determinación de gomas.....	40
3.7.11.	Prueba de frío.....	41
3.8.	Diseño de tratamientos .....	42
3.9.	Recolección y ordenamiento de información.....	42
3.10.	Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información.....	49
3.11.	Análisis estadístico.....	58
4.	RESULTADOS.....	65
5.	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS .....	71
	CONCLUSIONES.....	77
	RECOMENDACIONES .....	79
	BIBLIOGRAFÍA.....	81
	APÉNDICES.....	85
	ANEXOS.....	91

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Estructura molecular del ácido laúrico.....	5
2.	Estructura molecular del ácido mirístico .....	5
3.	Estructura molecular del ácido linolénico .....	6
4.	Estructura molecular del ácido linoléico .....	6
5.	Estructura molecular del ácido palmítico .....	7
6.	Estructura molecular del ácido oléico .....	8
7.	Estructura molecular del ácido esteárico.....	8
8.	Porcentaje de rendimiento del aceite fijo de la semilla de cacao .....	50
9.	Comparación de ácidos grasos presentes en el aceite fijo de la semilla de cacao.....	56
10.	Comparación de ácidos grasos por categoría.....	58
11.	Región crítica para porcentaje de rendimiento de aceite fijo de la semilla de cacao en función del método de extracción .....	60
12.	Región crítica para rendimiento de aceite fijo en función de la temperatura de extracción.....	61
13.	Régimen crítico para perfil de ácidos grasos del aceite fijo de la semilla de cacao en función de la temperatura de extracción .....	62
14.	Porcentaje de rendimiento del aceite fijo de la semilla de cacao .....	66
15.	Perfil de ácidos grasos en el aceite fijo de la semilla de cacao en función de la temperatura.....	68
16.	Categoría de ácidos grasos presentes en el aceite fijo de la semilla de cacao en función de la temperatura .....	69

## TABLAS

I.	Ácidos grasos presentes en el cacao .....	4
II.	Parámetros para realizar índice de yodo .....	32
III.	Concentración de hidróxido de sodio según porcentaje de ácidos grasos libres .....	36
IV.	Extracción de aceite fijo de semilla de cacao, realizada a 25 °C .....	43
V.	Extracción de aceite fijo de semilla de cacao, realizada a 47 °C .....	43
VI.	Extracción de aceite fijo de semilla de cacao, realizada a 69 °C .....	43
VII.	Determinación del índice de yodo del aceite fijo de semilla de cacao ..	44
VIII.	Determinación del índice de saponificación del aceite fijo de la semilla de cacao .....	44
IX.	Determinación del índice de acidez del aceite fijo de la semilla de cacao .....	45
X.	Determinación de cantidad de materia prima insaponificable en el aceite fijo de la semilla de cacao .....	45
XI.	Determinación del índice de peróxidos del aceite fijo de la semilla de cacao .....	46
XII.	Determinación del porcentaje de gomas en el aceite fijo de la semilla de cacao .....	46
XIII.	Determinación del punto frío del aceite fijo de la semilla de cacao.....	47
XIV.	Perfil de ácidos grasos presentes en el aceite fijo de la semilla de cacao extraído a 25 °C .....	47
XV.	Perfil de ácidos grasos presentes en el aceite fijo de la semilla de cacao extraído a 47 °C .....	48
XVI.	Perfil de ácidos grasos presentes en el aceite fijo de la semilla de cacao extraído a 69 °C .....	48
XVII.	Porcentaje de rendimiento de aceite fijo de la semilla de cacao extraído a temperatura ambiente .....	49

XVIII.	Porcentaje de rendimiento de aceite fijo de la semilla de cacao extraído a 47 °C .....	49
XIX.	Porcentaje de rendimiento de aceite fijo de la semilla de cacao extraído a 69 °C .....	50
XX.	Modelo matemático del porcentaje de rendimiento del aceite fijo de la semilla de cacao.....	51
XXI.	Determinación índice de yodo del aceite fijo de la semilla de cacao....	51
XXII.	Determinación del índice de saponificación del aceite fijo de la semilla de cacao .....	51
XXIII.	Determinación del índice de acidez del aceite fijo de la semilla de cacao .....	52
XXIV.	Determinación de la cantidad de materia prima insaponificable en el aceite fijo de la semilla de cacao.....	52
XXV.	Determinación del índice de peróxidos del aceite fijo de la semilla de cacao .....	53
XXVI.	Determinación del porcentaje de gomas en el aceite fijo de la semilla de cacao .....	53
XXVII.	Determinación del punto frío del aceite fijo de la semilla de cacao .....	54
XXVIII.	Perfil de ácidos grasos del aceite fijo de la semilla de cacao extraído a 25 °C .....	54
XXIX.	Perfil de ácidos grasos del aceite fijo de la semilla de cacao extraído a 47 °C .....	55
XXX.	Perfil de ácidos grasos del aceite fijo de la semilla de cacao extraído a 69 °C .....	55
XXXI.	Categoría de ácidos grasos presentes en el aceite fijo de la semilla de cacao extraído a 25 °C.....	56
XXXII.	Categoría de ácidos grasos presentes en el aceite fijo de la semilla de cacao extraído a 47 °C.....	57

XXXIII.	Categoría de ácidos grasos presentes en el aceite fijo de la semilla de cacao extraído a 69 °C .....	57
XXXIV.	Información para análisis estadístico de porcentaje de rendimiento de aceite fijo de la semilla de cacao en función del método de extracción .....	59
XXXV.	Andeva de porcentaje de rendimiento de aceite fijo de la semilla de cacao en función del método de extracción.....	59
XXXVI.	Información para análisis estadístico de porcentaje de rendimiento de aceite fijo de la semilla de cacao en función de la temperatura de extracción .....	60
XXXVII.	Andeva de porcentaje de rendimiento de aceite fijo de la semilla de cacao en función de la temperatura de extracción.....	61
XXXVIII.	Información para análisis estadístico de perfil de ácidos grasos en el aceite fijo de la semilla de cacao en función de la temperatura de extracción .....	61
XXXIX.	Andeva para perfil de ácidos grasos del aceite fijo de la semilla de cacao en función de la temperatura de extracción.....	62
XL.	Resumen del análisis estadístico Andeva.....	63
XLI.	Porcentaje de rendimiento del aceite fijo de la semilla de cacao.....	65
XLII.	Modelo matemático de la extracción del aceite fijo de la semilla de cacao .....	66
XLIII.	Determinación de los índices de calidad del aceite fijo obtenido de la semilla de cacao .....	67
XLIV.	Perfil de ácidos grasos en el aceite fijo obtenido de la semilla de cacao .....	67
XLV.	Categoría de ácidos grasos en el aceite fijo de la semilla de cacao.....	68
XLVI.	Cumplimiento de hipótesis.....	69

## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>AGL</b>	Ácidos grasos libres
<b>R2</b>	Coefficiente de correlación
<b>F</b>	Factor de Fisher
<b>°C</b>	Grados Celsius
<b>g</b>	Gramo
<b>IP</b>	Índice de peróxidos
<b>SP</b>	Índice de saponificación
<b>IV</b>	Índice de yodo
<b>kg</b>	Kilogramo
<b>L</b>	Litro
<b>MDR</b>	Maceración dinámica con reflujo
<b>MER</b>	Maceración estática con reflujo
<b>m</b>	Masa
<b>MI</b>	Materia prima insaponificable
<b>mL</b>	Mililitro
<b>mm</b>	Milímetro
<b>N</b>	Normalidad
<b>Núm.</b>	Número
<b>%</b>	Porcentaje
<b>s</b>	Segundo
<b>V</b>	Volumen



## GLOSARIO

<b>Aceite fijo</b>	Mezcla de ácidos grasos obtenido de semillas oleaginosas por medio del prensado del material vegetal o del contacto de este con un solvente apolar.
<b>Ácido graso</b>	Ácido carboxílico compuesto por una parte hidrofílica y una parte hidrofóbica.
<b>Cis</b>	Isomerización en la cual los sustituyentes están del mismo lado del doble enlace.
<b>Cromatografía</b>	Método físico que se basa en el principio de retención selectiva para separar los componentes de una mezcla compleja, que permite identificar y determinar las cantidades de los componentes.
<b>Destilación al vacío</b>	Separación de diversos componentes de una mezcla mediante evaporación y condensación por medio de los diferentes puntos de ebullición de cada uno, se disminuye el punto de ebullición de la solución por medio de la generación de un vacío parcial dentro del equipo.
<b>Éster</b>	Compuesto químico orgánico oxigenado con una sustitución de un grupo alquílico.

<b>Extrusor</b>	Equipo utilizado para la extracción de aceites fijos, consiste en un tornillo sin fin con un acople mecánico que lo provee de rotación y presionar la materia prima.
<b>Halogenación</b>	Reacción química de sustitución en la cual un compuesto halógeno sustituye un grupo hidrógeno en un compuesto orgánico.
<b>Hidrófilo</b>	Sustancia compatible con el agua.
<b>Hidrófobo</b>	Sustancia no compatible con el agua.
<b>Insaturación</b>	Formación de dobles enlaces entre dos carbonos en un compuesto orgánico propiciado por la ausencia de dos o cuatro hidrógenos.
<b>Lixiviación</b>	Disolución preferente de uno o más componentes de una mezcla sólida por contacto con un solvente líquido.
<b>Oleaginosa</b>	Semilla que contiene ácidos grasos. Materia prima para la obtención de aceite fijo.
<b>Rotaevaporador</b>	Equipo de destilación rotatorio asociado a un baño maría, se utiliza principalmente para concentrar por medio de evaporación con vacío, o bien, para realizar destilaciones fraccionadas.

<b>Saponificación</b>	Reacción de un éster y un hidróxido alcalino obteniéndose la sal alcalina del ácido orgánico (jabón) y un alcohol.
<b>Tanino</b>	Sustancia orgánica proveniente de la corteza de especies vegetales utilizada en la curtido de pieles.
<b>Winterización</b>	Proceso en el que se eliminan las grasas sólidas de aceites fijos mediante el enfriamiento.



## RESUMEN

Se realizó la extracción de aceite fijo de semilla de cacao utilizando dos métodos diferentes; maceración estática con reflujo y maceración dinámica con reflujo, variando en cada uno de los casos la temperatura de extracción entre 25, 47 y 69 °C. Para cada una de las temperaturas se obtuvo un mayor rendimiento al utilizar el método de maceración dinámica. De la misma manera, para cada método de extracción, el rendimiento extractivo se comportó directamente proporcional a la temperatura, sin embargo, debido a la alta variación entre los tratamientos realizados se obtuvo una variación estándar elevada, por lo que no fue posible comprobar la hipótesis nula propuesta.

Al analizar los resultados obtenidos para los índices de calidad, se observó que el índice de yodo disminuyó con la temperatura de extracción, indicando de esta forma, que al aumentar la temperatura, el aceite fijo extraído contiene una mayor cantidad de ácidos grasos insaturados.

Según los resultados de los índices de calidad de saponificación, ácidos grasos libres y materia prima insaponificable, la cantidad de jabón que puede producirse con aceite de semilla de cacao es independiente de la temperatura de extracción, aunque se encontró que la agitación reduce la cantidad de materia prima insaponificable. A su vez, la agitación propicia la generación de grumos de material resinoso, aumentando el porcentaje de gomas. De la misma manera, el carácter antioxidante del aceite es independiente del método de extracción, y de la temperatura, al tener un índice de peróxidos similar en ambos casos.

El punto frío del aceite de semilla de cacao indica que es necesario manipularlo y transportarlo como un sólido debido a su elevado valor (alrededor de temperatura ambiente), por lo tanto, para manejarlo como fluido es necesario llevarlo a una mayor temperatura.

El análisis de perfil de ácidos grasos presentó resultados esperados según la teoría, ya que se encontró en una mayor cantidad los ácidos esteárico, oleico, palmítico, linoléico y araquídico en porcentajes similares a la teoría. De dicho análisis se concluye también, que la temperatura de extracción no influye en el perfil de ácidos grasos, ya que los ácidos grasos mayoritarios fueron los mismos y presentaron similares cantidades entre sí.

## **OBJETIVOS**

### **General**

Realizar la caracterización fisicoquímica y la evaluación del rendimiento del aceite fijo de cacao criollo a escala laboratorio, utilizando los métodos de maceración estática y maceración dinámica con reflujo.

### **Específicos**

1. Realizar la extracción de aceite fijo de cacao criollo por los métodos de maceración estática y dinámica con reflujo.
2. Determinar el modelo matemático del rendimiento extractivo del aceite fijo en función de la temperatura de extracción.
3. Determinar índice de yodo, índice de peróxidos, índice de saponificación, índice de acidez, materia prima insaponificable, gomas y la prueba del punto frío del aceite fijo.
4. Determinar el perfil de ácidos grasos de la fracción lipídica del cacao criollo.

## **Hipótesis**

Es factible la extracción, caracterización fisicoquímica y evaluación del rendimiento de aceite fijo de cacao criollo a escala laboratorio utilizando los métodos de maceración estática y maceración dinámica con reflujo.

### **Hipótesis nula**

Ho1: No existe diferencia significativa en el rendimiento extractivo de aceite fijo entre los métodos de maceración estática y maceración dinámica con reflujo.

Ho2: No existe diferencia significativa en el rendimiento extractivo de aceite fijo en función de la temperatura de extracción.

Ho3: No existe diferencia significativa en los ácidos grasos en el aceite fijo en función de la temperatura de extracción.

### **Hipótesis alternativa**

Ha1: Sí existe diferencia significativa en el rendimiento extractivo de aceite fijo entre los métodos de maceración estática y maceración dinámica con reflujo.

Ha2: Sí existe diferencia significativa en el rendimiento extractivo de aceite fijo en función de la temperatura de extracción.

Ha3: No existe diferencia significativa en los ácidos grasos en el aceite fijo en función de la temperatura de extracción.

## INTRODUCCIÓN

El cacao es una planta de origen sudamericano que actualmente es cosechada en diversas partes del mundo, entre ellas, Guatemala. Durante el auge de las civilizaciones precolombinas en el territorio centroamericano, el cacao se convirtió en una planta de gran importancia para ellos, ya que fue adoptada como moneda de cambio para sus diversas relaciones comerciales.

El nombre del cacao viene del vocablo maya “*ka*” que significa amargo y “*kab*” que significa jugo, al unir estas palabras, su fonética es similar a “*cacaota*” que luego pasó a llamarse solo “cacao”.

El cacao fue también utilizado como planta medicinal, ya que la manteca obtenida de las semillas era utilizada por los antiguos médicos mayas como unguento para curar heridas en la piel; en contraste, en la actualidad, el cacao es utilizado para la elaboración de cremas para la eliminación de estrías y cicatrices.

Entre otras propiedades beneficiosas para la salud, se puede mencionar sus propiedades antioxidantes y alto contenido de magnesio, cuando este es consumido en proporciones adecuadas.

Actualmente, la industria del cacao en Guatemala se ha establecido, principalmente en la región norte del país, ya que las principales zonas de producción se encuentran en la región de las verapaces, donde la planta en cuestión, encuentra las condiciones ambientales óptimas para su crecimiento.



## 1. ANTECEDENTES

En mayo del 2007 se llevó a cabo el estudio a nivel de tesis titulado *Análisis fisicoquímico y evaluación del rendimiento de extracción del aceite de semilla de morro (Crescentialata HBK) proveniente de las regiones de Estanzuela, Zacapa y San Agustín Acasaguastlán, El Progreso*. Realizado por Glenda Rocío Luna Zúñiga. El estudio de la extracción fue hecho en las instalaciones de Olmeca, por medio de un tornillo prensa para luego determinar el perfil de ácidos grasos, estableciendo de esta manera el porcentaje de ácidos grasos saturados, ácidos grasos monoinsaturados y ácidos grasos poliinsaturados.

En febrero del 2008, se realizó el estudio a nivel de tesis titulado *Evaluación del rendimiento de extracción y caracterización del aceite fijo de café tostado tipo genuino Antigua obtenido por el proceso de prensado*. Realizado por la investigadora Lourdes María Ramírez Ovalle. En esta tesis se realizó la extracción de aceite fijo de café por un proceso de expresión en frío, utilizando para ello un equipo especial de extrusión. Una de las variables independientes seleccionadas fue el nivel de tueste de los granos de café, concluyendo que se obtuvo una diferencia de 1,03 % en los rendimientos. También se tuvo una diferencia de 2,78 % entre los rendimientos al evaluar como variables independientes dos métodos de extracción, siendo estos extrusión y técnica Soxhlet.

En mayo del 2013, fue presentado el estudio de investigación a nivel de tesis con el nombre de *Evaluación del rendimiento y calidad del aceite fijo de pulpa de aguacate (Persea americana Hass) obtenido por presión en frío en*

*función del proceso de secado*; el cual fue elaborado por Jorge Antonio Doradea Cruz. En esta tesis se evaluó el rendimiento del aceite fijo de pulpa de aguacate, siendo su variable independiente el método de secado, utilizando sulfito de sodio y ácido fosfórico. El método de extracción utilizado fue por expresión en frío, llegando a la conclusión de que no hay diferencia significativa entre los rendimientos de extracción, utilizando ambos métodos de secado.

En noviembre del 2013, se llevó a cabo el estudio a nivel tesis denominado *Evaluación del rendimiento y caracterización fisicoquímica de la extracción de la fracción lipídica de la copra del coco (Cocos nucífera L.), variedad verde utilizando tres solventes a escala laboratorio*. El cual fue realizado por Evelyn Lissette Figueroa Fuentes. Este estudio fue elaborado con tres solventes diferentes; siendo estos: hexano, acetato de etilo y alcohol isopropílico. El método de extracción utilizado fue maceración estática con reflujo a una temperatura de trabajo igual a la temperatura de ebullición de cada uno de los solventes. Por último, se determinó el perfil de ácidos grasos de la fracción lipídica.

## **2. MARCO TEÓRICO**

### **2.1. Aceites y grasas**

Son sustancias de origen vegetal o animal, que consisten predominantemente en mezclas de ésteres de la glicerina con los ácidos grasos, es decir, triglicéridos. En general, el término grasa es utilizado para referirse a los materiales sólidos a temperatura ambiente, mientras que el término aceite se refiere a los líquidos a temperatura ambiente.

#### **2.1.1. Ácidos grasos**

Son sustancias orgánicas, mejor conocidos como ácidos carboxílicos de cadena larga, siendo los más comunes aquellos de número par de carbonos. Si las moléculas de un ácido graso tiene en su estructura insaturaciones, se dice que es un ácido graso insaturado; por otra parte, si la estructura lineal es completamente saturada, se dice que es un ácido graso saturado, siendo estos últimos los principales componentes de las grasas mientras que los primeros componen los aceites.

Las insaturaciones en una cadena de carbonos de un ácido graso, intervienen en el estado físico de una sustancia, al aumentar el número de insaturaciones en las moléculas de ácido graso, disminuye el punto de fusión.

Los ácidos grasos son moléculas bipolares, es decir, poseen una sección hidrófila (compatible con el agua) y otra hidrófoba (incompatible con el agua).

### 2.1.2. Ácidos grasos presentes en el cacao

El cacao, al ser una semilla oleaginosa, posee una determinada cantidad y diversidad de ácidos grasos en su estructura química. Entre los ácidos grasos presentes se pueden mencionar principalmente los que se describen en la tabla I.

Tabla I. Ácidos grasos presentes en el cacao

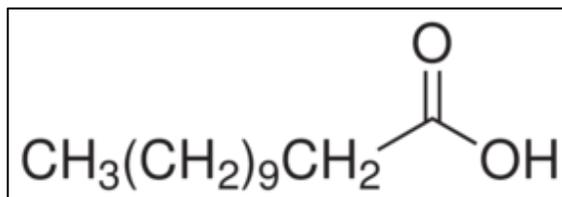
Ácido graso	Porcentaje de composición
Ácido láurico	< 0,1
Ácido mirístico	< 0,2
Ácido linolénico	< 0,3
Ácido linoléico	2–4
Ácido palmítico	23–30
Ácido oleico	30–37
Ácido esteárico	32–37

Fuente: ARRIAGA, Claudia. *Contenido de ácidos grasos de la manteca proveniente de mezclas, en distintas fracciones, de semillas de teobroma cacao y teobroma bicolor y su uso en la manufactura del chocolate.* p. 45.

#### 2.1.2.1. Ácido laúrico

El ácido láurico, también conocido como ácido dodecanóico es un ácido graso saturado que consta de doce átomos de carbono en su cadena. A temperatura ambiente es sólido con una densidad de 880 kg/m<sup>3</sup>. Su punto de fusión se encuentra en aproximadamente 43 °C.

Figura 1. **Estructura molecular del ácido láurico**

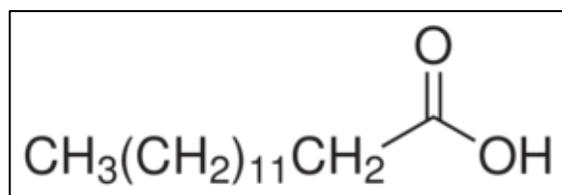


Fuente: elaboración propia, con base a la ficha técnica del ácido láurico.

#### 2.1.2.2. **Ácido mirísitico**

Es un ácido graso saturado que cuenta con catorce carbonos en su cadena. A temperatura ambiente es sólido con una densidad de 862 kg/m<sup>3</sup>. Su punto de fusión se encuentra en aproximadamente 54 °C.

Figura 2. **Estructura molecular del ácido mirístico**



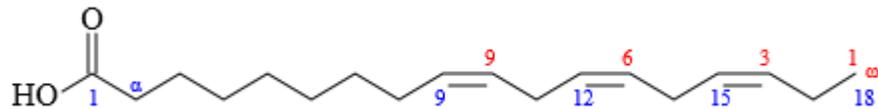
Fuente: elaboración propia, con base a la ficha técnica del ácido mirístico.

#### 2.1.2.3. **Ácido linolénico**

Es un ácido graso esencial formado por una cadena de dieciocho carbonos con tres dobles enlaces ubicados en las posiciones 9, 12 y 15. Su punto de fusión se encuentra en aproximadamente -11 °C, es decir, a temperatura ambiente se puede encontrar en estado líquido.

Este ácido graso es posible encontrarlo en forma de dos isómeros, el alfa y el gamma, siendo el primero un ácido graso esencial omega 3 y el segundo un ácido graso esencial omega 6.

Figura 3. **Estructura molecular del ácido linoléico**

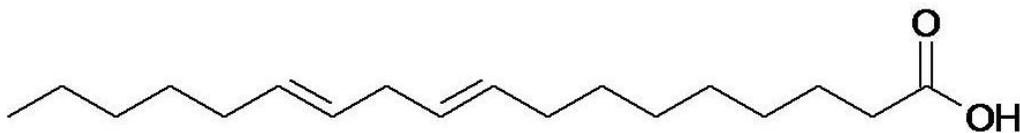


Fuente: elaboración propia, con base a la ficha técnica del ácido linoléico.

#### 2.1.2.4. **Ácido linoléico**

Es un ácido graso esencial omega 6 que consta de dieciocho carbonos con dos insaturaciones en las posiciones 9 y 12. Tiene una temperatura de fusión de aproximadamente -5 °C, con lo cual a temperatura ambiente se encuentra en estado líquido.

Figura 4. **Estructura molecular del ácido linoléico**

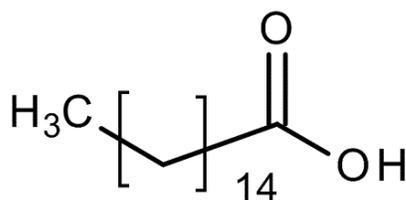


Fuente: elaboración propia, con base a la ficha técnica del ácido linoléico.

### 2.1.2.5. Ácido palmítico

Es un ácido graso saturado conformado por dieciséis carbonos. Tiene una temperatura de fusión de aproximadamente 63 °C, con lo cual a temperatura ambiente se encuentra en forma sólida. Tiene una densidad de 853 kg/m<sup>3</sup>.

Figura 5. Estructura molecular del ácido palmítico

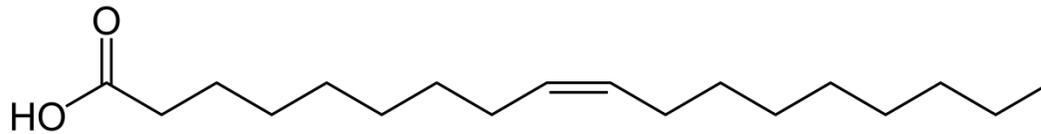


Fuente: elaboración propia, con base a la ficha técnica del ácido palmítico.

### 2.1.2.6. Ácido oléico

Es un ácido graso insaturado de dieciocho carbonos con una sola insaturación en el carbono 9 con isomerización *cis*. Forma parte de los ácidos grasos esenciales conocidos como omega 9. Tiene una densidad de 895 kg/m<sup>3</sup> y una temperatura de fusión de 15 °C, con lo cual a temperatura ambiente es posible encontrarlo en forma líquida.

Figura 6. **Estructura molecular del ácido oléico**



Fuente: elaboración propia, con base a la ficha técnica del ácido oléico.

### 2.1.2.7. **Ácido esteárico**

Es un ácido graso saturado de dieciocho carbonos con una densidad de  $847 \text{ kg/m}^3$  y punto de fusión de aproximadamente  $69 \text{ }^\circ\text{C}$ , con lo cual a temperatura ambiente se encuentra en forma sólida.

Figura 7. **Estructura molecular del ácido esteárico**



Fuente: elaboración propia, con base a la ficha técnica del ácido esteárico.

### 2.1.3. **Caracterización de los aceites**

Para tener una mejor clasificación de aceites y grasas, es necesario realizar unas pruebas de caracterización a las muestras, entre las cuales se pueden mencionar la determinación del índice de yodo y el cálculo del índice de saponificación.

### **2.1.3.1. Índice de yodo**

Este índice mide el grado de insaturación de los ácidos grasos en forma cuantitativa. Hace referencia a los gramos de yodo absorbido por 100 gramos de la muestra de aceite. El índice de yodo es directamente proporcional al grado de insaturación, es decir, si un ácido cuenta entre sus componentes con una gran cantidad de ácidos grasos insaturados, el índice de yodo será elevado. El principio de este método de caracterización de aceites se basa en una reacción orgánica de halogenación, en la cual se añade yodo a las insaturaciones, utilizando un indicador para contabilizar la cantidad de yodo necesaria para completar la saturación.

### **2.1.3.2. Índice de saponificación**

Este índice mide la cantidad necesaria para saponificar un gramo de la muestra de aceite. Hace referencia a los miligramos de hidróxido de potasio necesario para saponificar el aceite, basándose en la reacción de saponificación.

### **2.1.3.3. Índice de acidez**

Este índice mide la cantidad de ácidos grasos libres presentes en la muestra de aceite. Se define como la cantidad en miligramos de hidróxido de potasio necesario para neutralizar un gramo de aceite.

#### **2.1.3.4. Materia prima insaponificable**

Este índice hace referencia a la cantidad de masa presente en la muestra que no es posible saponificarla, es decir, la cantidad de masa, que de la cual, no puede obtenerse jabón en presencia de hidróxido de potasio o sodio.

#### **2.1.3.5. Índice de peróxidos**

Determina todas las sustancias, en términos de miliequivalentes de peróxido por 1 000 g de muestra, que oxidan el yoduro de potasio bajo las condiciones de la prueba. Generalmente se asume que las sustancias son peróxidos u otras sustancias similares que oxidan la grasa.

#### **2.1.3.6. Determinación 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 por centrifugación separarlos. Las gomas producen pérdidas en el refinado y disminuye la vida de almacenamiento de un producto.

#### **2.1.3.7. Prueba de frío**

Determina la resistencia que un aceite tiene a la cristalización. Asimismo, la facilidad para separar la estearina de la oleína durante un proceso de winterización.

## **2.2. Extracción del aceite fijo**

La extracción de aceites se realiza por diversos métodos a nivel laboratorio. En el caso de las semillas oleaginosas puede realizarse, principalmente de dos formas distintas, expresión en frío y lixiviación.

### **2.2.1. Expresión en frío**

La extracción de aceites fijos por expresión en frío consiste en aplicar presión a las semillas oleaginosas, las cuales debido a dicha presión liberarán la mezcla de ácidos grasos característica de la planta. Este método puede realizarse con diversos equipos, pero principalmente se utiliza una prensa hidráulica o bien, un extrusor. Actualmente se utiliza un extrusor en la industria chocolatera para la extracción de aceite de cacao, el cual se obtiene en forma sólida, ya que se extrae a temperatura ambiente.

### **2.2.2. Lixiviación**

Consiste en hacer pasar un solvente por la materia prima vegetal. Para que este método sea efectivo, la extracción de aceites debe ser realizada con solventes orgánicos, ya que los aceites no son solubles en agua.

### **2.2.3. Métodos de extracción**

Estos métodos pueden ser realizados por expresión en frío o bien, por lixiviación. Los métodos más comunes de extracción por lixiviación son maceración estática, maceración dinámica, maceración estática con reflujo, maceración dinámica con reflujo y técnica Soxhlet.

### **2.2.3.1. Maceración estática**

Consiste en colocar la materia prima en contacto con el solvente a utilizarse. Este método puede ser combinado con la aplicación de calor para obtener un rendimiento más alto, o bien, reducir el tiempo de extracción de aceite. La ventaja de este método es la sencillez en su metodología, pero entre sus desventajas se pueden mencionar los bajos rendimientos y mayores tiempos de extracción. Si se le aplica calor, se tendría la desventaja también, que la materia prima debe colocarse en un recipiente cerrado para evitar la pérdida de solvente como de fracciones aromáticas características del aceite.

### **2.2.3.2. Maceración dinámica**

Consiste en colocar la materia prima en contacto con el solvente a utilizarse, al igual que el método anterior con la diferencia de que en este método se utiliza agitación para homogeneizar la mezcla. Este método puede ser combinado con la aplicación de calor para obtener un rendimiento mayor o reducir el tiempo extractivo. Sus ventajas son la sencillez de su metodología y la homogenización de la mezcla debido a la agitación, permitiendo de esta forma que el solvente alcance a cubrir mejor la materia prima. Como desventajas se pueden mencionar las mismas que para maceración estática, ya que no se obtienen rendimientos altos o bien, para la obtención de un mayor rendimiento se necesitaría de un tiempo extractivo mayor; también que al aplicarse calor, no puede utilizarse de buena forma los vapores del solvente, ya que si el recipiente es abierto, se perdería la mezcla gaseosa de vapor del solvente y fracciones volátiles características del aceite.

### **2.2.3.3. Maceración estática con reflujo**

Es una mejora del método de maceración estática, ya que consiste en colocar un condensador en la parte superior del recipiente utilizado para la extracción. Para que este método se lleve a cabo de buena manera, es necesario aplicar calor a la mezcla, ayudando de esta forma a la extracción del aceite. La presencia de un condensador en la parte superior previene que los vapores y los compuestos volátiles se escapen, porque al pasar por el condensador, la diferencia de temperaturas propicia que esta mezcla gaseosa ceda su calor latente formando un condensado, el cual, por gravedad se deposita nuevamente en el recipiente extractivo. Como ventajas de este método, se pueden mencionar mayores rendimientos extractivos, ya que se aplica calor a la mezcla; también la reutilización de los vapores que se escapan de la mezcla, previniendo de esta forma la pérdida de la calidad del aceite. Su desventaja es que se requiere de equipo más especializado, ya que es necesario utilizar una plancha de calentamiento y un condensador.

### **2.2.3.4. Maceración dinámica con reflujo**

El método extractivo es igual que el anterior, a diferencia que en este es necesario aplicar agitación a la mezcla de material vegetal con el solvente. Las ventajas, al igual que el método anterior, se pueden mencionar la obtención de rendimientos más altos, ya que es necesario aplicar calor a la mezcla. La aplicación de agitación propicia también, mayores rendimientos extractivos o bien reducir el tiempo extractivo. Al igual que en el método anterior, la reutilización de la mezcla gaseosa, gracias al condensador superior, ayuda a prevenir la pérdida de sustancias volátiles propias del aceite. Como desventaja están la necesidad de utilizar equipo más especializado como la plancha de calentamiento y el condensador.

#### **2.2.3.5. Técnica Soxhlet**

Método extractivo más eficiente y conocido, consiste en agotar el material vegetal utilizado; colocar la materia prima en un dedal de celulosa el cual será introducido al equipo especial necesario para la extracción. Es utilizado, principalmente, para determinar el tiempo óptimo de extracción, es decir, el tiempo necesario para obtener el máximo rendimiento posible de la materia prima. En este método, la materia prima al principio no se encuentra en contacto con el solvente, ya que está en un recipiente inferior. Es necesario aplicar calor para que el solvente alcance su temperatura de ebullición, y de esta forma, alcanzar el compartimiento de materia prima. Al pasar los vapores de solvente por la materia prima, estos arrastran el aceite, el cual se mezcla con el solvente en el recipiente inferior.

#### **2.2.4. Variables en el proceso de extracción**

Son muchas las variables que influyen en el proceso extractivo, entre estas se pueden mencionar que algunas son variables independientes al proceso, es decir, no dependen del proceso, ya que son aquellas que se definen previo a realizar la extracción. También se pueden mencionar las variables dependientes o respuesta; estas son el resultado que se obtiene luego de realizado el proceso. Cabe mencionar que las variables independientes influyen en los valores finales de las dependientes.

##### **2.2.4.1. Variable independiente: temperatura**

La temperatura es una variable independiente, ya que antes de realizar el proceso de extracción se establece una temperatura de trabajo, la cual debe

verificarse a lo largo del proceso, porque una variación en esta puede influir de forma positiva o negativa en los resultados finales.

#### **2.2.4.2. Variable independiente: método extractivo**

El método de extracción es también una variable independiente, debido a que se establece previo a realizar la extracción. Un método y otro tienen diversas ventajas y desventajas y debe analizarse cuál es el que mejores resultados puede brindar.

#### **2.2.4.3. Variable independiente: tamaño de partícula**

El tamaño de partícula es importante para la extracción, ya que influye directamente en los resultados obtenidos. Previo a realizar la extracción es conveniente hacer un análisis granulométrico y determinar el tamaño a utilizar para la extracción.

#### **2.2.4.4. Variable independiente: agitación**

La agitación es también una variable independiente, porque se puede decidir previo a realizar la extracción, la velocidad de agitación deseada. La presencia de agitación o ausencia de la misma, así como la velocidad a la cual esta se realice influye directamente en los resultados.

#### **2.2.4.5. Variable independiente: pH**

El pH del solvente puede ser importante para realizar una buena extracción, ya que puede influir en la solubilidad de determinados compuestos

característicos del extracto que se desea obtener. Debe tenerse cuidado con el pH, porque extremos muy ácidos o muy alcalinos pueden dañar el material vegetal.

#### **2.2.4.6. Variable independiente: naturaleza del solvente**

La naturaleza del solvente es importante para la extracción, ya que hay ciertos extractos que son incompatibles con algunos solventes, tal es el caso de los aceites fijos, porque estos se componen, principalmente de ácidos grasos, los cuales son prácticamente insolubles en agua y por esta razón es necesario utilizar solventes apolares como el hexano. También la concentración del solvente es importante para la extracción, ya que algunos solventes pueden dañar la materia vegetal si son utilizados a concentraciones muy elevadas.

#### **2.2.4.7. Variable dependiente: tiempo de extracción**

El tiempo de extracción puede ser una variable tanto dependiente como independiente, ya que se puede determinar desde un principio el tiempo de extracción; sin embargo, si el objetivo es obtener un rendimiento máximo, el tiempo de extracción sería una variable dependiente, ya que sería la respuesta a una serie de condiciones establecidas para obtener el máximo rendimiento posible.

#### **2.2.4.8. Variable dependiente: rendimiento de extracción**

El rendimiento extractivo es usualmente la variable respuesta de un proceso de extracción, ya que regularmente no se tiene conocimiento exacto de la cantidad del extracto vegetal. Las variables, anteriormente mencionadas, influyen en gran medida al valor final del rendimiento de la extracción; por ejemplo, teóricamente se conoce que para obtener un mayor rendimiento extractivo es necesario una temperatura elevada, cuidando de no sobrepasar la temperatura de termolabilidad de la materia vegetal. También el tamaño de las partículas influye en el rendimiento, porque al disminuir el tamaño de estas, se aumenta el área superficial, mejorando de esta forma el contacto material vegetal-solvente, sin embargo, debe tenerse cuidado, ya que si las partículas son demasiado pequeñas, al entrar en contacto con el solvente puede formar lodo lo cual sería perjudicial al proceso de extracción. De la misma manera, la agitación es un factor que influye en el rendimiento final de la extracción, porque experimentalmente se ha comprobado que se obtienen mayores rendimientos cuando se aplica agitación y que el rendimiento aumenta considerablemente cuando se incrementa la velocidad de agitación.

### **2.3. Cacao**

Es una planta oriunda de América, se le conoce con este nombre tanto a la semilla, como al producto de su fermentación. A continuación se presenta la historia del cacao, variedades y el cultivo de la planta.

### **2.3.1. Historia del cacao**

El cacao es una planta originaria de América, específicamente de la región tropical de las selvas del Amazonas, como Colombia, Ecuador, Perú y Brasil, siendo este último el país con mayor diversidad de especies de cacao.

Con el paso del tiempo, el cacao fue expandiéndose a otras regiones de América, como la región de Mesoamérica que comprende desde la parte baja de México, cubriendo la mayor parte de Centroamérica hasta Costa Rica. Región en la cual el cacao fue utilizado por los mayas como moneda de cambio en sus actividades comerciales.

Los mayas, siendo una civilización establecida en tierras bajas de bosques húmedos, llegaron a conocer muy bien el cacao y las condiciones que este necesita para florecer. Fue utilizado para preparar bebidas, ya que perfeccionaron su cultivo y producción; aprendieron a curar y conservar las semillas de cacao.

Durante el descubrimiento de América y su posterior colonización, los españoles y portugueses vieron al cacao como una buena fuente de alimento, por lo que expandieron su cultivo a Europa y posteriormente a todo el mundo, teniendo en la actualidad grandes plantaciones en Asia, África y Oceanía, en regiones tropicales.

### **2.3.2. Variedades de cacao**

En la actualidad se conocen tres variedades de cacao, siendo estas: criollo, forastero y trinitario.

### **2.3.2.1. Cacao criollo**

Los árboles de cacao criollo son relativamente la variedad más baja y de menor robustez, pero con un alto nivel de aroma en las semillas. Es típica de las regiones tropicales de América, como Centroamérica, México, Colombia, Venezuela, Ecuador, Perú, Bolivia y el norte de Brasil.

### **2.3.2.2. Cacao forastero**

Esta variedad es la más alta y más robusta de los árboles de cacao. No es tan aromático como el criollo, pero tiene un porcentaje mayor de taninos. Esta variedad es típica de las regiones tropicales de África.

### **2.3.2.3. Cacao trinitario**

Esta es una mezcla entre las dos variedades anteriormente mencionadas. Tiene propiedades medias entre criollo y forastero.

## **2.3.3. El árbol de cacao**

El árbol de cacao pertenece al orden Malvales, a la familia Esterculiaceae, al género Theobroma y a la especie cacao.

### **2.3.3.1. Raíces**

El árbol de cacao proveniente de semilla, tiene una raíz principal o pivotante que puede crecer normalmente entre 1,20 y 1,50 metros y ocasionalmente puede alcanzar 2 metros; esto puede suceder dependiendo del suelo y algunos otros factores propios del lugar. En los primeros 20 a 25 cm,

desde el cuello de la raíz se desarrollan gran cantidad de raíces laterales o secundarias que dan origen a otras. La mayoría de ellas se ubican en los primeros 25 cm de profundidad del suelo alrededor del árbol, llegando a cubrir aproximadamente el área de su copa, pero en forma muy irregular. Casi todas las raicillas se encuentran en la parte superior, en contacto con el mantillo que cubre naturalmente el suelo.

Cuando se enraízan ramas laterales del árbol, por lo general, no tienen raíz principal y las laterales o secundarias se comportan en forma parecida a la pivotante, profundizándose un poco, mientras las terciarias y siguientes adoptan la posición superficial.

#### **2.3.3.2. Tronco**

El tronco crece verticalmente hasta formar el primer verticilo, aproximadamente un metro de altura. Pasado el primer año de vida de la planta, el tallo desarrolla una serie de yemas axilares que, de manera conjunta forman el verticilo, corona u horqueta.

El crecimiento de las ramas es indeterminado y crecen debido a varios factores, siendo el agua y la temperatura los principales.

#### **2.3.3.3. Hojas**

Al formarse, la mayoría, de las hojas tienen pigmentación y el color varía desde muy pigmentadas hasta completamente sin pigmentos. Las más pigmentadas, generalmente se encuentran entre los cacaos criollos y trinitarios y las menos pigmentadas se encuentran entre los amazónicos, siendo estos últimos, por lo general, los que cuentan con hojas más pequeñas.

El tamaño de la hoja puede variar mucho, pero en general, tiene influencia del ambiente donde se desarrolla. Generalmente, a menos luz, más grande la hoja. Los cacaos amazónicos tienen hojas ligeramente más pequeñas y los criollos y trinitarios algo más grandes y con verdes más intensos.

#### **2.3.4. Cultivo de cacao**

Entre los factores que más importancia tienen, desde el punto de vista del cacao, la temperatura y la lluvia son sin duda los que pueden limitar la zona para el cultivo, puesto que estos son considerados como los factores climáticos críticos para su desarrollo. Sin embargo, en algunos lugares, el viento puede ser, sin lugar a dudas, el factor limitante de más importancia sin considerar ninguno de los otros.

La luz o radiación solar se considera también, como un factor importante, ya que el cacao es una planta que se desarrolla bajo sombra; pero en condiciones especiales de luminosidad y distribución o provisión de agua, puede ser cultivada a plena exposición, aunque en estos casos los requerimientos de otros factores no deben ser olvidados.

La humedad relativa, también tiene importancia, puesto que de ella puede depender la facilidad de propagación de algunas enfermedades; sin embargo, su importancia no puede ser equiparada a los factores antes mencionados, pero podría ser limitante bajo condiciones especiales.

#### **2.3.4.1. Temperatura de cultivo**

El cacao no soporta temperaturas bajo cero, aunque estas sean por poco tiempo. Dependiendo de la localidad, el cacao puede ser rentable si se siembra en lugares donde la temperatura no baja de 15 °C. Las temperaturas extremas muy altas pueden afectar momentáneamente alguna de las funciones del árbol de cacao; pero en todo caso, no hay límite caliente, si se tiene en cuenta que es un cultivo que debe estar a la sombra, por lo tanto, las altas temperaturas provenientes del contacto directo de los rayos solares disminuyen considerablemente.

En muchos de los lugares en que se produce cacao, la temperatura media fluctúa entre 25 y 26 °C, aunque se pueden encontrar plantaciones comerciales de buenos rendimientos en lugares cuya temperatura media es de 23 °C.

#### **2.3.4.2. Agua de cultivo**

En la mayoría de las regiones de plantación de cacao, la cantidad de lluvia excede la evapotranspiración y, por lo tanto, el agua debe ser eliminada por otros medio. Si los suelos no son suficientemente drenados, la planta de cacao puede sufrir algunos daños y la producción puede reducirse considerablemente. Por otro lado, la planta de cacao es extremadamente sensible a la falta de agua, pues los estomas de las hojas se cierran, aun con pequeños cambios en el contenido de agua de ellos. El cierre de las estomas induce a una rápida baja del poder fotosintético de las hojas y, por consiguiente, del poder de producción de la planta. Si la falta de agua es persistente, la muerte de los tejidos sobreviene rápidamente, con la muerte y caída de las hojas.

La cantidad de lluvia que satisface al cultivo oscila entre 1 500 y 2 500 mm en las zonas bajas más cálidas y en 1 000 y 1 500 mm en las zonas más frescas o los valles altos. En aquellas zonas donde la lluvia es superior a los 4 000 mm por año, el cacao solamente podría ser económico en un suelo muy bien drenado o en suelos accidentados donde no haya acumulaciones de agua, pues un anegamiento por unos días provoca una asfixia de las raíces y su muerte en muy pocos días, lo que redundaría en algunos casos extremos en la muerte de la planta.

#### **2.3.4.3. El viento en los cultivos**

La presencia de una brisa permanente puede repercutir en la pérdida de agua en pequeñas cantidades, con lo cual las hojas dejarían de trabajar, se secan y mueren. Si el viento es más intenso, las hojas se caen prematuramente. Una velocidad de 1 m/s no es muy dañina para el cacao, pero más de 4 m/s puede hacer mucho daño. En las áreas costeras donde los vientos son muy comunes y pueden alcanzar velocidades considerables, el uso de cortinas rompevientos es lo más común y recomendado. Si la velocidad del viento no es mayor, los árboles de sombra defienden suficientemente el cacao de posibles daños.

Hay muchas especies que se pueden usar como cortinas rompevientos, pero siempre se debe tender a usar especies que puedan tener otra utilidad como frutales o madera fina.

El origen del viento, también puede ser importante, pues vientos que vienen del mar, generalmente son húmedos, pero los que vienen de los desiertos son muy desecantes en los cacaotales.

#### **2.3.4.4. Sombra en el cultivo**

El cacao en estado natural vive en asociación biológica con otras especies como palmeras, árboles y arbustos pequeños. Debido a que el cacao se le ha encontrado creciendo bajo otros árboles más grandes y, a que su cultivo ha sido tradicionalmente bajo sombra, se ha dicho que es típicamente humbrofilo o muy amigo de la sombra, sin embargo, la evidencia experimental ha demostrado que se puede tener cacao sin sombra.

En la mayoría de las áreas cacaoteras es muy difícil instalar un cacaotal a plena exposición debido a los graves problemas con la hierba y el control de insectos; por esta razón es conveniente tener una sombra temporal, por lo menos en un período de dos y medio a tres años.

El efecto de la sombra al iniciar la plantación no solo es de reducir la luz, sino también, el de reducir el movimiento de aire que perjudica a la planta, igual o más que el efecto de temperatura y luz unidos. Una vez que el crecimiento de la planta ha permitido un autosombreamiento, la sombra ya no será tan indispensable y puede iniciarse la eliminación de ella hasta llegar a un buen punto de equilibrio.

### **3. DISEÑO METODOLÓGICO**

#### **3.1. Localización**

El desarrollo experimental de la investigación se llevó a cabo en el Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales (LIEXVE) Sección de Química Industrial, Centro de Investigaciones de Ingeniería, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.

El perfil de ácidos grasos se realizó en el Instituto de Investigaciones Biológicas, Químicas y Biofísicas, de la Universidad Mariano Gálvez de Guatemala.

#### **3.2. Variables**

Previo a realizar el estudio, es necesario definir variables independientes y dependientes.

##### **3.2.1. Variables independientes**

- Método extractivo: se llevará a cabo la extracción por maceración dinámica con reflujo y por maceración dinámica sin reflujo.
- Temperatura de trabajo: se llevará a cabo la extracción a tres temperaturas diferentes.

### **3.2.2. Variables dependientes**

- Rendimiento extractivo: según las condiciones de trabajo el rendimiento puede variar.
- Caracterización del aceite fijo: según las condiciones de trabajo la composición del aceite puede variar.
- Índice de yodo, índice de saponificación, índice de acidez, materia prima insaponificable, índice de peróxidos, gomas y prueba de frío: según las condiciones de trabajo los índices del aceite pueden variar.

### **3.3. Delimitación del campo de estudio**

La extracción de aceite fijo de cacao se realizó por los métodos de maceración estática y dinámica con reflujo, el tiempo óptimo extractivo se evaluó por medio del equipo Soxhlet y el espectrofotómetro UV-VIS.

Se evaluó el rendimiento del aceite fijo dependiendo del método y la temperatura de extracción a escala laboratorio, utilizando como solvente: hexano grado industrial. La materia prima fue obtenida del fruto del árbol de cacao en el municipio de San Miguel Panán, departamento de Suchitepéquez, Guatemala.

### **3.4. Diseño experimental**

Para la experimentación se evaluaron dos métodos de extracción, maceración dinámica con reflujo y estática con reflujo, utilizando para cada uno de estos métodos tres temperaturas de trabajo, temperatura ambiente (25 °C), 47 °C y temperatura de ebullición del solvente hexano grado industrial alrededor

de 69 °C. Para cada temperatura de trabajo se realizaron tres tratamientos, haciendo un total de 18 realizados.

### **3.5. Recurso humano disponible**

El recurso humano necesario para llevar a cabo este proyecto de investigación constó de tres personas, el investigador, Iván Eduardo De León Barrientos y dos asesores, los ingenieros químicos Telma Maricela Cano Morales y Mario José Mérida Meré.

### **3.6. Recurso material disponible**

Entre los recursos materiales que fueron utilizados para el proyecto de investigación, se pueden mencionar materia prima, cristalería, reactivos y equipo de laboratorio.

#### **3.6.1. Materia prima**

El fruto del árbol de cacao.

#### **3.6.2. Cristalería**

- *Beackers* de 50 mL
- *Beackers* de 100 mL
- Condensador
- Probeta de 25 mL
- Probeta de 100 mL
- Picnómetro de 10 mL
- Balones de fondo redondo de 1 000 mL

### **3.6.3. Reactivos**

- Agua desmineralizada
- Hexano

### **3.6.4. Equipos**

- Balanza analítica digital
- Cromatógrafo de gases con acoplamiento a espectrometría de masas
- Equipo de recirculación
- Rotaevaporador
- Filtro de vacío

## **3.7. Técnica cuantitativa**

Las técnicas de laboratorio consistieron en pretratamiento de la materia prima, extracción de aceite fijo por dos métodos distintos, índice de yodo, índice de saponificación y caracterización fisicoquímica.

### **3.7.1. Pretratamiento de las semillas de cacao**

Luego de la cosecha de las vainas de cacao, se procede a limpiar los frutos para que estos no contengan objetos extraños o ajenos a la planta. Luego los agricultores abren dichas vainas para obtener la semilla interna y proceder a la fermentación de las mismas, proceso que tiene una duración de aproximadamente 5 a 6 días. Durante la fermentación es necesario que las semillas se mantengan a una temperatura constante de aproximadamente 45 y 50 °C, las semillas de cacao sufren una pequeña germinación y pierden su astringencia.

Luego de la fermentación, las semillas se someten a un proceso de secado, el cual puede realizarse de forma industrial o bien, artesanal; utilizando para este último solamente energía proveniente del sol. El proceso de secado es realizado sobre bandejas, en las cuales las semillas pierden alrededor del 50 % en peso. Este proceso tarda aproximadamente dos semanas en llevarse a cabo.

En este punto, las semillas se encuentran listas para ser sometidas a un tratamiento de tostado. Durante este proceso, las semillas adquieren las propiedades organolépticas características del cacao. La temperatura y tiempo de tostado dependerán del tipo de semilla utilizada, aunque, generalmente es un proceso que tarda entre 70 y 115 minutos a temperaturas entre 99 y 105 °C. En este proceso, las semillas adquieren un color café intenso y se vuelven quebradizas.

Por último, se procede a retirar la cascarilla que recubre la semilla, obteniendo así la semilla final de cacao.

### **3.7.2. Extracción de aceite fijo por el método Soxhlet y determinación del tiempo óptimo extractivo por espectrofotometría UV-VIS**

- Selección de la materia prima para la extracción.
- Se armó el equipo Soxhlet.
- En el dedal de celulosa se colocaron 20 gramos de cacao y se introdujo el dedal en la cámara de extracción.
- Se colocaron, en el balón de fondo plano, 200 mL de hexano grado industrial y se agregaron perlas de ebullición.

- La plancha de calentamiento se encendió hasta el punto de ebullición del solvente.
- Los vapores de hexano llegaron al tubo refrigerante, acoplado a un sistema de enfriamiento, condensando y depositándose en el dedal de celulosa en la cámara de extracción hasta que esta se llenó y cayó al balón por medio del sifón.
- Se extrajo fluido de la cámara de extracción y se midió la absorbancia. Se repitió esta medición hasta que llegó a la medida de la absorbancia del hexano puro, la cual fue medida previamente.
- La plancha de calentamiento se desconectó, se tomó el tiempo de extracción y se esperó a que el extracto hexanólico se enfriara.
- El aceite fijo se concentró en el rotaevaporador.
- Se pesó el aceite fijo y se determinó su rendimiento.

### **3.7.3. Extracción de aceite fijo por maceración estática con reflujo**

- Selección de la materia prima para la extracción.
- Se armó el equipo de maceración estática con reflujo.
- Colocación de 125 g de cacao y 250 mL de hexano en el balón de fondo plano.
- Se colocó el condensador en la parte superior del balón y se conectó a un sistema de enfriamiento.
- Se encendió la plancha de calentamiento y se seleccionó la temperatura de trabajo.
- Al cumplir el tiempo de extracción, se apagó la plancha de calentamiento.
- Realización de tres repeticiones para la temperatura establecida.
- Se repitió el procedimiento para tres temperaturas diferentes.
- Preparación del equipo de filtrado y se filtró cada una de las muestras.

- Concentración del aceite fijo por medio del rotaevaporador.
- Se pesó el aceite fijo y se determinó su rendimiento.
- Realización de los análisis respectivos a cada muestra.

#### **3.7.4. Extracción de aceite fijo por maceración dinámica con reflujo**

- Selección de la materia prima para la extracción.
- Se armó el equipo de maceración estática con reflujo.
- Colocación de 125 g de cacao y 250 mL de hexano en el balón de fondo plano.
- Se colocó el condensador en la parte superior del balón y se conectó a un sistema de enfriamiento.
- La plancha de calentamiento se encendió y se seleccionó la temperatura y agitación de trabajo.
- Al cumplir el tiempo de extracción, se apagó la plancha de calentamiento.
- Realización de tres repeticiones para la temperatura establecida.
- Se repitió el procedimiento para tres temperaturas diferentes.
- Preparación del equipo de filtrado y se filtró cada una de las muestras.
- Concentración del aceite fijo por medio del rotaevaporador.
- Se pesó el aceite fijo y se determinó su rendimiento.
- Realización de los análisis respectivos a cada muestra.

#### **3.7.5. Índice de yodo**

##### Reactivos

- Solución de yoduro de potasio (KI, 15 %): disolver 15 g de KI en 100 mL de agua.

- Solución Wijs.
- Almidón soluble: se mezcló 1 g de almidón con un poco de agua fría. Mientras se mezclaron, se agregaron 200 mL de agua hirviendo.
- Dicromato de potasio.
- Tiosulfato de sodio.
- Ácidos (clorhídrico, acético glacial, sulfúrico).
- Ciclohexano.
- Solvente ciclohexano-ácido acético: mezclar ciclohexano y ácido acético en proporción 1:1.

#### Procedimiento

- Se derritió la muestra y se pasó a través de papel filtro de doble cara para remover cualquier impureza sólida. Se enfrió hasta 68 °C - 71 °C. Inmediatamente se pesó la muestra según la tabla en un matraz de 500 mL.

Tabla II. **Parámetros para realizar índice de yodo**

Valor	Muestra (g)	Exactitud (mg)
3	10,50-8,46	0,5
10	3,17-2,54	0,2
20	1,59-1,27	0,2
40	0,79-0,63	0,2
80	0,40-0,32	0,2
120	0,26-0,21	0,2
160	0,20-0,16	0,2
200	0,16-0,13	0,2

Fuente: elaboración propia.

- Se prepararon dos blancos para correrlos por cada grupo de muestras.
- Se agregaron 15 mL del solvente ciclohexano-ácido acético a cada muestra y se agitó levemente, para asegurarse que la disolución sea completa.
- Se agregó 25 ml de solución de Wijs a cada muestra y se agitó para mezclar. Se dejó reposar una hora, almacenando las muestras en la oscuridad a  $25 \pm 5$  °C.
- Transcurrido el tiempo de reacción, se agregó 20 mL de la solución de yoduro de potasio y se mezcló.
- Se agregó 150 mL de agua y se tituló gradualmente con solución estándar de tiosulfato de sodio a 0,1M hasta que desapareció el color amarillento de la solución.
- Se agregar de 1 a 2 mL del indicador de almidón y se continuó titulando hasta que se tornó 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.
- Para calcular el índice de yodo, se utilizó la siguiente ecuación:

$$IV = \frac{(B - S) * M * 12,69}{W}$$

Donde

$IV$  = índice de yodo

$B$  = volumen de titulación del blanco (mililitros)

$S$  = volumen de titulación de la muestra (mililitros)

$M$  = molaridad solución de tiosulfato de sodio (moles por litro)

$W$  = peso medido del aceite en la muestra (gramos)

### 3.7.6. Índice de saponificación

#### Reactivos

- Solución alcohólica de hidróxido de potasio: se pesó 10 g de hidróxido de potasio en un balón de 2 L. Se agregó de 1 a 1,5 L de alcohol etílico, se hirvió en un baño con agua y se puso a reflujo en un condensador de 30 a 60 minutos. Se destiló y colectó el alcohol. Se disolvieron 40 g de hidróxido de potasio en 1 L del alcohol destilado a una temperatura menor de 15 °C.
- Indicador fenolftaleína.
- Ácido clorhídrico 0,5 N.

#### Procedimiento

- Se pesó 5 g de aceite y se agregó 50 mL de la solución de hidróxido de potasio alcohólica.
- Se preparó un blanco de forma simultánea a las muestras.
- Se colocaron los balones de blanco y muestras en un condensador durante una hora.
- Después de obtener la muestra deseada, se lavó el condensador con una cantidad mínima de agua destilada.
- Se tituló la solución con ácido clorhídrico 0,5 M utilizando como indicador fenolftaleína.
- Para calcular el índice de saponificación, se utilizó la siguiente ecuación:

$$SP = \frac{(B - S) * N * 56.1}{W}$$

Donde

$SP$  = índice de saponificación

$B$  = volumen de titulación del blanco (mililitros)

$S$  = volumen de titulación de la muestra (mililitros)

$M$  = molaridad solución de ácido clorhídrico (moles por litro)

$W$  = peso medido del aceite en la muestra (gramos)

### **3.7.7. Índice de acidez**

Reactivos

- Etanol
- Indicador fenolftaleína
- Hidróxido de potasio

Soluciones

- Alcohol etílico al 95 %. El alcohol debe tener definido, distinguido y específico punto final con fenolftaleína y debe ser neutralizado con una base, pero que permanezca de color rosado antes de ser utilizado.
- Solución indicadora de fenolftaleína al 1 % en alcohol al 95 %.
- Solución de hidróxido de sodio, recientemente estandarizada. Cuya concentración se tomó según la tabla III.

Tabla III. **Concentración de hidróxido de sodio según porcentaje de ácidos grasos libres**

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

Fuente: elaboración propia.

#### Procedimiento

- Se pesó la muestra de aceite fijo.
- Se adicionó la cantidad específica de alcohol caliente neutralizado y 2 gotas de indicador.
- Se tituló la solución estándar de hidróxido de sodio, agitando vigorosamente hasta que apareció el primer color rosado permanente, de la misma intensidad que la del alcohol neutralizado, antes de la adición de la muestra.
- Cálculos.

El porcentaje de ácidos grasos libres en la mayoría de tipos de grasa y aceites se calculó como ácido oleico.

$$\%AGL = \left( \frac{mL \text{ base} * N * 28,2}{\text{peso muestra}} \right)$$

### 3.7.8. Materia prima insaponificable

#### Reactivos

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

#### Procedimiento

- Se pesó 5 g de muestra dentro de un *Earlenmeyer* o un matraz, se agregó 30 mL de alcohol al 95 % y 5 mL de hidróxido de potasio al 50 %, se puso a reflujo durante 1 hora, hasta que se completó la saponificación.
- Se transfirió a la ampolla de decantación y se lavó el matraz con 40 mL de alcohol al 95 %, se completó la transferencia con 80 mL de agua destilada, se continuó los lavados con pequeñas cantidades de éter y se agregó al cilindro, se dejó enfriar hasta 20 °C y luego se agregaron 50 mL de éter.
- Se insertó el tapón a la ampolla de decantación y se agitó vigorosamente por 1 min para que se separaran las 2 fases.
- Las fracciones de éter fueron drenadas de la ampolla.
- Se repitió la extracción usando éter en porciones de 50 mL hasta completar 6 y se agitó vigorosamente con cada extracción.
- Se realizaron 3 lavados con alcohol al 10 % en agua destilada, se agitó vigorosamente y se drenó el alcohol.

- Se transfirió la capa de éter a un *beacker* tarado y se evaporó el contenido en baño maría y se completó el secado en el horno a 80 °C y se pesó.
- Se agregó 50 mL de alcohol al 95 %, se calentó a 50 °C neutralizado y se tituló con hidróxido de sodio 0,02 N, usando fenolftaleína de indicador.
- Se hizo un blanco por prueba de materia insaponificable.

Cálculos

$$\%MI = \left( \frac{A - (B + C)}{\text{Peso muestra}} \right) * 100$$

Donde

A= peso del residuo

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

C= contenido del blanco

### 3.7.9. Índice de peróxidos

Reactivos

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

## Soluciones

- Solución de ácido acético-cloroformo, mezclando 3 volúmenes de ácido acético glacial grado reactivo con 2 volúmenes de cloroformo grado reactivo.
- Solución saturada de yoduro de potasio, preparada recientemente, disolviendo un exceso de yoduro en agua destilada, recientemente hervida.
- Solución de tiosulfato de sodio 0,01 N estandarizada.
- Solución indicador de almidón, preparada al hacer una pasta con 1 g de almidón una pequeña cantidad de agua destilada fría.

## Procedimiento

- Se pesó 5,00 g de muestra en un *Earlenmeyer* de 250 mL con un tapón de vidrio, se agregaron 30 ml de solución de ácido acético-cloroformo 3:2. Para disolver la muestra se agitó. Agregando 0,5 mL de solución saturada de yoduro de potasio.
- Se dejó reposar la solución, agitando ocasionalmente por 1 min y se agregó inmediatamente 30 mL de agua destilada.
- Se tituló con tiosulfato de sodio 0,1 N, acondicionándolo gradualmente, agitando constantemente. Se continuó la titulación hasta que el color amarillo desapareció.
- Se agregó 0,5 mL de la solución de almidón, y se continuó la titulación con agitación. Cerca del punto final se agregó el tiosulfato en gotas hasta que desapareció el color azul.
- Se hizo la determinación con un blanco.

Cálculos

$$IP \left( \frac{meq}{1000g} \right) = \frac{(S - B) * N * 1000}{Peso\ muestra}$$

Donde

B= titulación en blanco

S= titulación en muestra

N= normalidad de la solución de tiosulfato de sodio

### 3.7.10. Determinación de gomas

Reactivos

- Ácido fosfórico
- Agua destilada
- Hexano

Procedimiento

- Se pesó la muestra y se colocó en un *beacker* de 400 mL.
- A la muestra se agregó 1 gota de ácido fosfórico 10 mL de agua destilada hervida.
- Se calentó la mezcla a 70 °C con agitación durante 10 min.
- Se taró y llenó un tubo de ensayo con la muestra y se colocó en la centrífuga durante 10 o 15 min.
- Se trasvasó el aceite separado en la centrífuga.

- Se realizaron dos lavados consecutivos con hexano a las gomas depositadas en el tubo de ensayo y se agregaron a un *beacker* de 250 mL.
- Se extrajeron las gomas restantes en el tubo de ensayo con una espátula y se destiló el hexano calentando la muestra a 70 °C en el horno.
- Se pesó el *beacker* que contiene las gomas secas.

Cálculos

$$Gomas = PG - PB$$

Donde

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

PB= peso del *beacker*

### 3.7.11. Prueba de frío

Reactivos

- Ninguno

Procedimiento

- Se filtró el aceite y se calentó hasta una temperatura de 130 °C.
- Se llenó una botella con la muestra y se colocó un tapón limpio y seco. Se ajustó la muestra y la botella a temperatura ambiente con parafina.
- Se introdujo la botella con la muestra en el baño con hielo y se refrigeró.

- Cada media hora se revisó que el aceite estuviera claro y brillante. La prueba terminó cuando se dio el nublamiento, se anota la temperatura final de la muestra.

### **3.8. Diseño de tratamientos**

Las extracciones se realizaron por dos métodos de maceración:

- Estática con reflujo
- Dinámica con reflujo

Cada método fue realizado a tres temperaturas:

- Temperatura ambiente (25 °C)
- 47 ° C
- Temperatura de ebullición del hexano (69 °C)

### **3.9. Recolección y ordenamiento de información**

Las tablas IV a XVI incluyen los valores experimentales medidos en el Laboratorio de Extractos Vegetales (LIEXVE) de la Facultad de Ingeniería en la Universidad de San Carlos de Guatemala y el Instituto de Investigaciones Biológicas, Químicas y Biofísicas de la Universidad Mariano Gálvez.

Tabla IV. **Extracción de aceite fijo de semilla de cacao, realizada a 25 °C**

<b>Método</b>	<b>Corrida</b>	<b>Masa inicial (g)</b>	<b>Masa aceite (g)</b>
Maceración estática con reflujo	1	125,00	4,33
	2	125,04	4,16
	3	125,00	3,32
Maceración dinámica con reflujo	1	125,04	9,59
	2	125,08	9,69
	3	125,03	9,28

Fuente: elaboración propia.

Tabla V. **Extracción de aceite fijo de semilla de cacao, realizada a 47 °C**

<b>Método</b>	<b>Corrida</b>	<b>Masa inicial (g)</b>	<b>Masa aceite (g)</b>
Maceración estática con reflujo	1	125,05	5,32
	2	125,07	4,39
	3	125,01	6,06
Maceración dinámica con reflujo	1	125,03	10,95
	2	125,03	11,46
	3	125,00	9,70

Fuente: elaboración propia.

Tabla VI. **Extracción de aceite fijo de semilla de cacao, realizada a 69 °C**

<b>Método</b>	<b>Corrida</b>	<b>Masa inicial (g)</b>	<b>Masa aceite (g)</b>
Maceración estática con reflujo	1	125,01	7,84
	2	125,03	5,63
	3	125,04	8,29
Maceración dinámica con reflujo	1	125,02	19,58
	2	125,06	11,80
	3	125,05	20,16

Fuente: elaboración propia.

Tabla VII. **Determinación del índice de yodo del aceite fijo de semilla de cacao**

<b>Método</b>	<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Titulación (mL)</b>	<b>Blanco (mL)</b>	<b>N tiosulfato (mol/L)</b>	<b>Peso muestra (g)</b>
Maceración estática con reflujo	25	11	23	0,1	1,03
	47	15	23	0,1	1,05
	69	17	23	0,1	0,99
Maceración dinámica con reflujo	25	9	23	0,1	1,02
	47	15	23	0,1	1,00
	69	16	23	0,1	1,02

Fuente: elaboración propia.

Tabla VIII. **Determinación del índice de saponificación del aceite fijo de la semilla de cacao**

<b>Método</b>	<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Titulación (mL)</b>	<b>Blanco (mL)</b>	<b>N HCl(mol/L)</b>	<b>Peso muestra (g)</b>
Maceración estática con reflujo	25	2,7	2,9	0,5	1,03
	47	2,6	2,9	0,5	1,00
	69	2,6	2,9	0,5	1,05
Maceración dinámica con reflujo	25	2,6	2,9	0,5	1,09
	47	2,6	2,9	0,5	0,99
	69	2,7	2,9	0,5	1,03

Fuente: elaboración propia.

Tabla IX. **Determinación del índice de acidez del aceite fijo de la semilla de cacao**

Método	Temperatura (°C)	Titulación (mL)	N NaOH(mol/L)	Peso muestra (g)
Maceración estática con reflujo	25	0,20	1	1,03
	47	0,20	1	1,04
	69	0,10	1	1,00
Maceración dinámica con reflujo	25	0,20	1	1,05
	47	0,10	1	1,01
	69	0,15	1	1,03

Fuente: elaboración propia.

Tabla X. **Determinación de cantidad de materia prima insaponificable en el aceite fijo de la semilla de cacao**

Método	Temperatura (°C)	V NaOH (mL)	Residuo (g)	Grasa ácida (g)	Blanco (g)	Masa (g)
Maceración estática con reflujo	25	0,50	0,23	0,00280	0	1,03
	47	0,50	0,17	0,00280	0	1,04
	69	0,60	0,15	0,00336	0	1,01
Maceración dinámica con reflujo	25	0,75	0,19	0,00420	0	1,00
	47	0,60	0,11	0,00336	0	1,05
	69	0,60	0,14	0,00336	0	1,00

Fuente: elaboración propia.

Tabla XI. **Determinación del índice de peróxidos del aceite fijo de la semilla de cacao**

<b>Método</b>	<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Titulación (mL)</b>	<b>Blanco (mL)</b>	<b>N tiosulfato (mol/L)</b>	<b>Peso muestra (g)</b>
Maceración estática con reflujo	25	0,1	0	0,1	1,03
	47	0,1	0	0,1	1,05
	69	0,25	0	0,1	0,99
Maceración dinámica con reflujo	25	0,1	0	0,1	1,02
	47	0,1	0	0,1	1,00
	69	0,1	0	0,1	1,02

Fuente: elaboración propia.

Tabla XII. **Determinación del porcentaje de gomas en el aceite fijo de la semilla de cacao**

<b>Método</b>	<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Papel + gomas (g)</b>	<b>Papel (g)</b>	<b>Gomas (g)</b>	<b>Masa (g)</b>
Maceración estática con reflujo	25	1,74	1,23	0,51	1,05
	47	1,82	1,29	0,53	1,05
	69	1,68	1,28	0,40	1,00
Maceración dinámica con reflujo	25	1,88	1,25	0,63	1,03
	47	2,19	1,25	0,94	1,04
	69	1,82	1,24	0,58	1,00

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIII. **Determinación del punto frío del aceite fijo de la semilla de cacao**

Método	Temperatura (°C)	Punto frío (°C)
Maceración estática con reflujo	25	24
	47	25
	69	24
Maceración dinámica con reflujo	25	24
	47	24
	69	25

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIV. **Perfil de ácidos grasos presentes en el aceite fijo de la semilla de cacao extraído a 25 °C**

Núm.	Ácido graso	Tiempo de retención (min)	Área (%)
1	Esteárico	26,210	33,708
2	Oleico	29,230	31,762
3	Palmítico	18,140	28564
4	Linoleico	34,740	3.400
5	Araquídico	40,460	1,200
6	Laúrico	11,160	0,400
7	Palmitoleico	20,200	0.400
8	Margárico	21,540	0,200
9	Caprílico	9,030	0,100

Fuente: elaboración propia, con base en el anexo 1.

Tabla XV. **Perfil de ácidos grasos presentes en el aceite fijo de la semilla de cacao extraído a 47 °C**

Núm.	Ácido graso	Tiempo de retención (min)	Área (%)
1	Esteárico	26,500	34,293
2	Oleico	29,510	33,103
3	Palmítico	18,250	26,839
4	Linoleico	34,830	3,330
5	Araquídico	40,510	1,200
6	Palmitoleico	20,220	0,400
7	Behénico	66,210	0,300
8	Margárico	21,560	0,200
9	Linolénico	43,010	0,200

Fuente: elaboración propia, con base en el anexo 1.

Tabla XVI. **Perfil de ácidos grasos presentes en el aceite fijo de la semilla de cacao extraído a 69 °C**

Núm.	Ácido graso	Tiempo de retención (min)	Área (%)
1	Esteárico	26,600	42,969
2	Palmítico	18,260	26,264
3	Oleico	29,510	25,543
4	Linoleico	34,840	2,450
5	Araquídico	40,590	1,630
6	Palmitoleico	20,220	0,300
7	Behénico	66,380	0,300
8	Margárico	21,570	0,200
9	Linolénico	43,050	0,200

Fuente: elaboración propia, con base en el anexo 1.

### 3.10. Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información

En las tablas XVII a XXXIII se incluye los datos obtenidos luego de realizar el análisis matemático y estadístico a los valores experimentales.

Tabla XVII. **Porcentaje de rendimiento de aceite fijo de la semilla de cacao extraído a temperatura ambiente**

Método	Corrida	Rendimiento (%)	Media	Desviación estándar
Maceración estática con reflujo	1	3,46	3,15	0,43
	2	3,33		
	3	2,66		
Maceración dinámica con reflujo	1	7,67	7,61	0,17
	2	7,75		
	3	7,42		

Fuente: elaboración propia, con base a la tabla IV.

Tabla XVIII. **Porcentaje de rendimiento de aceite fijo de la semilla de cacao extraído a 47 °C**

Método	Corrida	Rendimiento (%)	Media	Desviación estándar
Maceración estática con reflujo	1	4,25	4,20	0,67
	2	3,51		
	3	4,85		
Maceración dinámica con reflujo	1	8,76	8,56	0,72
	2	9,17		
	3	7,76		

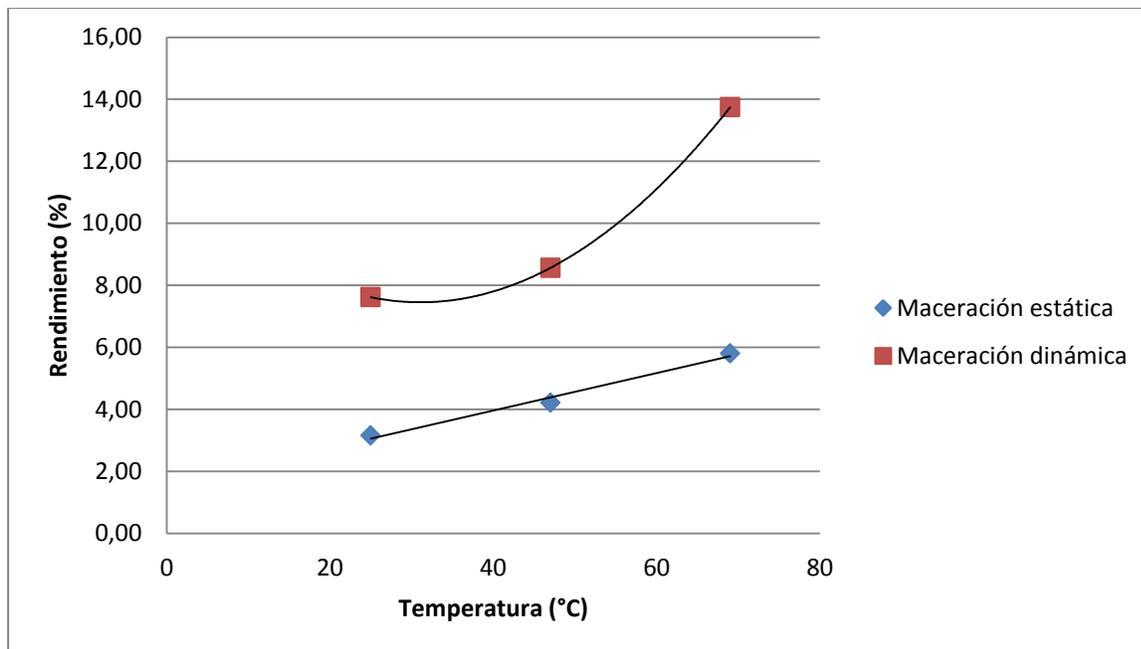
Fuente: elaboración propia, con base a la tabla V.

Tabla XIX. **Porcentaje de rendimiento de aceite fijo de la semilla de cacao extraído a 69 °C**

Método	Corrida	Rendimiento (%)	Media	Desviación estándar
Maceración estática con reflujo	1	6,27	5,80	1,14
	2	4,50		
	3	6,63		
Maceración dinámica con reflujo	1	15,66	13,74	3,73
	2	9,44		
	3	16,12		

Fuente: elaboración propia, con base a la tabla VI.

Figura 8. **Porcentaje de rendimiento del aceite fijo de la semilla de cacao**



Fuente: elaboración propia, con base a las tablas XVII–XIX.

Tabla XX. **Modelo matemático del porcentaje de rendimiento del aceite fijo de la semilla de cacao**

Método		Maceración dinámica con reflujo	Maceración estática con reflujo
T1	25	7,61	3,15
T2	47	8,56	4,20
T3	69	13,74	5,80
Gráfica	Correlación	$Y=0,0044x^2 - 0,2715x+11,67$	$Y=0,0603x+1,5515$
	R2	0,9863	1

Fuente: elaboración propia, con base a la figura 8.

Tabla XXI. **Determinación del índice de yodo del aceite fijo de la semilla de cacao**

Método	Corrida	Índice de yodo	Media	Desviación estándar
Maceración estática con reflujo	1	14,78	10,71	3,66
	2	9,67		
	3	7,69		
Maceración dinámica con reflujo	1	17,42	12,09	4,67
	2	10,15		
	3	8,71		

Fuente: elaboración propia, con base a la tabla VII.

Tabla XXII. **Determinación del índice de saponificación del aceite fijo de la semilla de cacao**

Método	Corrida	SP	Media	Desviación estándar
Maceración estática con reflujo	1	5,45	7,29	1,61
	2	8,42		
	3	8,01		

Continuación de la tabla XXII

Maceración dinámica con reflujo	1	7,72	7,22	1,59
	2	8,50		
	3	5,45		

Fuente: elaboración propia, con base a la tabla VIII.

Tabla XXIII. **Determinación del índice de acidez del aceite fijo de la semilla de cacao**

Método	Corrida	% AGL	Media	Desviación estándar
Maceración estática con reflujo	1	5,48	4,57	1,52
	2	5,42		
	3	2,82		
Maceración dinámica con reflujo	1	5,37	4,09	1,29
	2	2,79		
	3	4,11		

Fuente: elaboración propia, con base a la tabla IX.

Tabla XXIV. **Determinación de la cantidad de materia prima insaponificable en el aceite fijo de la semilla de cacao**

Método	Corrida	% MPI	Media	Desviación estándar
Maceración estática con reflujo	1	22,06	17,55	3,98
	2	16,08		
	3	14,52		
Maceración dinámica con reflujo	1	18,58	14,13	4,23
	2	10,16		
	3	13,66		

Fuente: elaboración propia, con base a la tabla X.

Tabla XXV. **Determinación del índice de peróxidos del aceite fijo de la semilla de cacao**

Método	Corrida	Peróxidos (meq/1000 g)	Media	Desviación estándar
Maceración estática con reflujo	1	9,71	14,83	9,03
	2	9,52		
	3	25,25		
Maceración dinámica con reflujo	1	9,80	9,87	0,11
	2	10,00		
	3	9,80		

Fuente: elaboración propia, con base a la tabla XI.

Tabla XXVI. **Determinación del porcentaje de gomas en el aceite fijo de la semilla de cacao**

Método	Corrida	% Gomas	Media	Desviación estándar
Maceración estática con reflujo	1	48,57	39,57	5,58
	2	50,48		
	3	40,00		
Maceración dinámica con reflujo	1	61,17	69,85	17,85
	2	90,38		
	3	58,00		

Fuente: elaboración propia, con base a la tabla XII.

Tabla XXVII. **Determinación del punto frío del aceite fijo de la semilla de cacao**

Método	Corrida	Punto frío (°C)	Media	Desviación estándar
Maceración estática con reflujo	1	24	24,33	0,58
	2	25		
	3	24		
Maceración dinámica con reflujo	1	24	24,33	0,58
	2	24		
	3	25		

Fuente: elaboración propia, con base a la tabla XIII.

Tabla XXVIII. **Perfil de ácidos grasos del aceite fijo de la semilla de cacao extraído a 25 °C**

Núm.	Área (%)	Ácido graso	Núm. de carbonos	Núm. de insaturaciones
1	33,708	Esteárico	18	0
2	31,762	Oleico	18	1
3	28,564	Palmítico	16	0
4	3,400	Linoleico	18	2
5	1,200	Araquídico	20	0
6	0,400	Laúrico	12	0
7	0,400	Palmitoleico	16	1
8	0,200	Margárico	17	0
9	0,100	Caprílico	8	0
10	0,100	Capríco	10	0

Fuente: elaboración propia, con base a la tabla XIV.

Tabla XXIX. **Perfil de ácidos grasos del aceite fijo de la semilla de cacao extraído a 47 °C**

Núm.	Área (%)	Ácido graso	Núm. de carbonos	Núm. de insaturaciones
1	34,293	Esteárico	18	0
2	33,103	Oleico	18	1
3	26,839	Palmítico	16	0
4	3,330	Linoleico	18	2
5	1,200	Araquídico	20	0
6	0,400	Palmitoleico	16	1
7	0,300	Behénico	22	0
8	0,200	Margárico	17	0
9	0,200	Linolénico	18	3
10	0,100	Mirístico	14	0

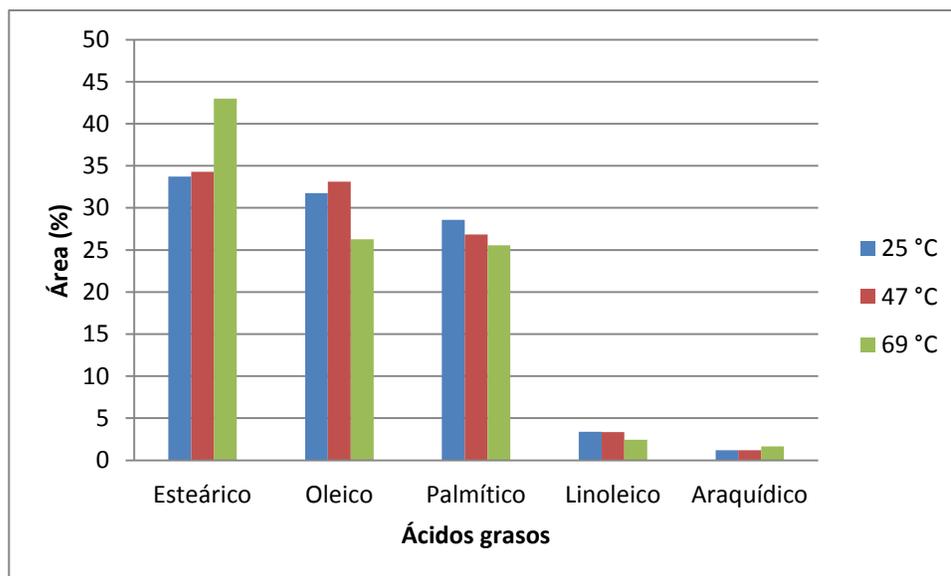
Fuente: elaboración propia, con base a la tabla XV.

Tabla XXX. **Perfil de ácidos grasos del aceite fijo de la semilla de cacao extraído a 69 °C**

Núm.	Área (%)	Ácido graso	Núm. de carbonos	Núm. de insaturaciones
1	42,969	Esteárico	18	0
2	26,264	Palmítico	16	0
3	25,543	Oleico	18	1
4	2,450	Linoleico	18	2
5	1,630	Araquídico	20	0
6	0,300	Palmitoleico	16	1
7	0,300	Behénico	22	0
8	0,200	Margárico	17	0
9	0,200	Linolénico	18	3
10	0,100	Mirístico	14	0

Fuente: elaboración propia, con base a la tabla XVI.

Figura 9. **Comparación de ácidos grasos presentes en el aceite fijo de la semilla de cacao**



Fuente: elaboración propia, con base a las tablas XXVIII-XXX.

Tabla XXXI. **Categoría de ácidos grasos presentes en el aceite fijo de la semilla de cacao extraído a 25 °C**

Núm.	Ácidos grasos	Total (%)
1	Saturados	64,402
2	Monoinsaturados	32,196
3	Poliinsaturados	3,400
4	Omega 6	3,400
5	Omega 3	Trazas
6	Trans	No detectado

Fuente: elaboración propia, con base a la tabla XXVIII.

Tabla XXXII. **Categoría de ácidos grasos presentes en el aceite fijo de la semilla de cacao extraído a 47 °C**

Núm.	Ácidos grasos	Total (%)
1	Saturados	52,913
2	Monoinsaturados	33,541
3	Poliinsaturados	3,550
4	Omega 6	3,330
5	Omega 3	0,200
6	Trans	No detectado

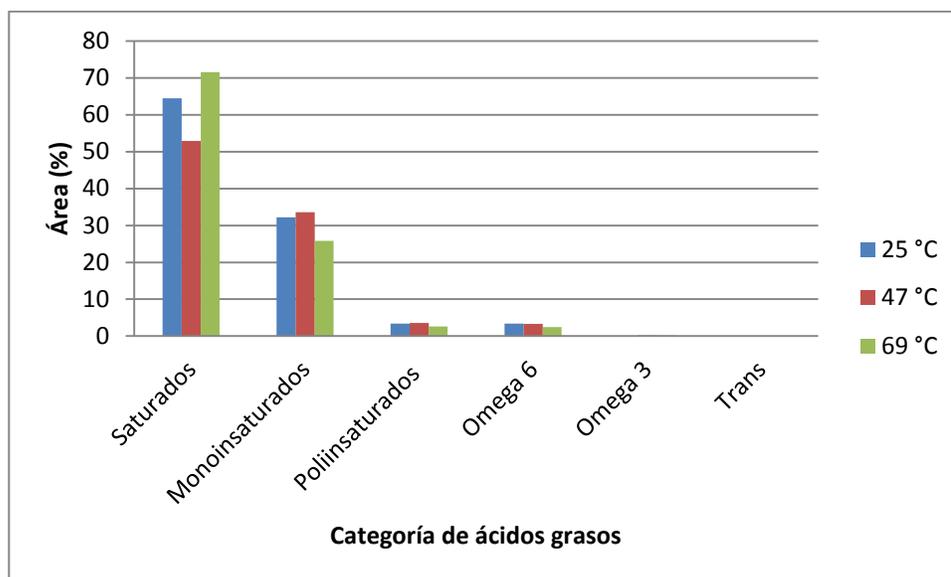
Fuente: elaboración propia, con base al tabla XXIX.

Tabla XXXIII. **Categoría de ácidos grasos presentes en el aceite fijo de la semilla de cacao extraído a 69 °C**

Núm.	Ácidos grasos	Total (%)
1	Saturados	71,531
2	Monoinsaturados	25,851
3	Poliinsaturados	2,620
4	Omega 6	2,450
5	Omega 3	0,200
6	Trans	No detectado

Fuente: elaboración propia, con base a la tabla XXX.

Figura 10. Comparación de ácidos grasos por categoría



Fuente: elaboración propia, con base a las tablas XXXI-XXXIII.

### 3.11. Análisis estadístico

A continuación, en las tablas XXXIV a la XL se presenta el análisis estadístico.

Tabla XXXIV. **Información para análisis estadístico de porcentaje de rendimiento de aceite fijo de la semilla de cacao en función del método de extracción**

<b>Método</b>	<b>Maceración estática con reflujo</b>	<b>Maceración dinámica con reflujo</b>
25	3,46	7,67
	3,33	7,75
	2,66	7,42
47	4,25	8,76
	3,51	9,17
	4,85	7,76
69	6,27	15,66
	4,50	9,44
	6,63	16,12

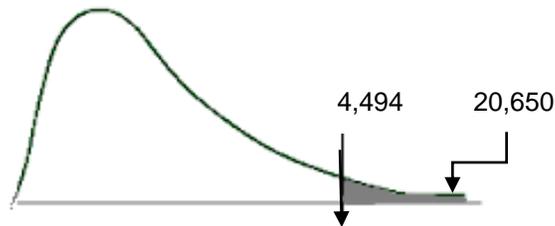
Fuente: elaboración propia, con base a las tablas XVII-XIX.

Tabla XXXV. **Andeva de porcentaje de rendimiento de aceite fijo de la semilla de cacao en función del método de extracción**

<b>Fuente de variación</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Grados de libertad</b>	<b>Promedio de los cuadrados</b>	<b>F</b>	<b>Valor crítico para F</b>
Tratamientos	140,437	1	140,437	20,650	4,494
Error	108,811	16	6,801		
Total	249,248	17			

Fuente: elaboración propia, con base a la tabla XXXIV.

Figura 11. **Región crítica para porcentaje de rendimiento de aceite fijo de la semilla de cacao en función del método de extracción**



Fuente: elaboración propia, con base a la tabla XXXV.

Tabla XXXVI. **Información para análisis estadístico de porcentaje de rendimiento de aceite fijo de la semilla de cacao en función de la temperatura de extracción**

Temperatura (°C)	25	47	69
Método			
Maceración estática con reflujo	3,46	4,25	6,27
	3,33	3,51	4,50
	2,66	4,85	6,63
Maceración dinámica con reflujo	7,67	8,76	15,66
	7,75	9,17	9,44
	7,42	7,76	16,12

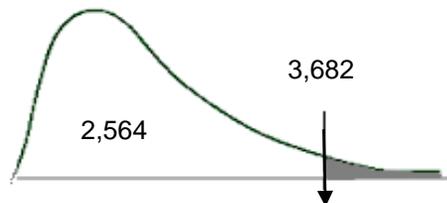
Fuente: elaboración propia, con base a las tablas XVII-XIX.

Tabla XXXVII. **Andeva de porcentaje de rendimiento de aceite fijo de la semilla de cacao en función de la temperatura de extracción**

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico para F
Tratamientos	63,497	2	31,749	2,564	3,682
Error	185,751	15	12,383		
Total	249,248	17			

Fuente: elaboración propia, con base a la tabla XXXVI.

Figura 12. **Región crítica para rendimiento de aceite fijo en función de la temperatura de extracción**



Fuente: elaboración propia, con base a la tabla XXXVII.

Tabla XXXVIII. **Información para análisis estadístico de perfil de ácidos grasos en el aceite fijo de la semilla de cacao en función de la temperatura de extracción**

Temperatura (°C)	25	47	69
Ácido graso			
Esteárico	33,708	34,293	42,969
Oleico	31,762	33,103	25,543
Palmítico	28,564	26,839	26,264

Continuación de la tabla XXXVIII.

Linoleico	3,400	3,330	2,450
Araquídico	1,200	1,200	1,630

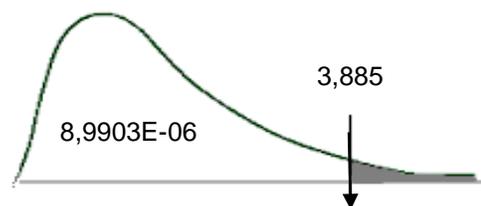
Fuente: elaboración propia, con base a las tablas XXVIII-XXX.

Tabla XXXIX. **Andeva para perfil de ácidos grasos del aceite fijo de la semilla de cacao en función de la temperatura de extracción**

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico para F
Tratamientos	0,0050	2	0,0025	8,9903E-06	3,8853
Error	3324,7322	12	277,0610		
Total	3324,737	14			

Fuente: elaboración propia, con base a la tabla XXXVIII.

Figura 13. **Régimen crítico para perfil de ácidos grasos del aceite fijo de la semilla de cacao en función de la temperatura de extracción**



Fuente: elaboración propia con base en la tabla XXXIX.

Tabla XL. **Resumen del análisis estadístico Andeva**

Análisis	F	F crítico	Cumplimiento de tesis	
			Nula	Alternativa
Rendimiento de aceite fijo en función del método de extracción.	20,650	4,494		X
Rendimiento de aceite fijo en función de la temperatura de extracción.	2,564	3,682	X	
Ácidos grasos del aceite fijo en función de la temperatura de extracción.	8,9903E-06	3,885	X	

Fuente: elaboración propia, con base a las figuras 11-13.



## 4. RESULTADOS

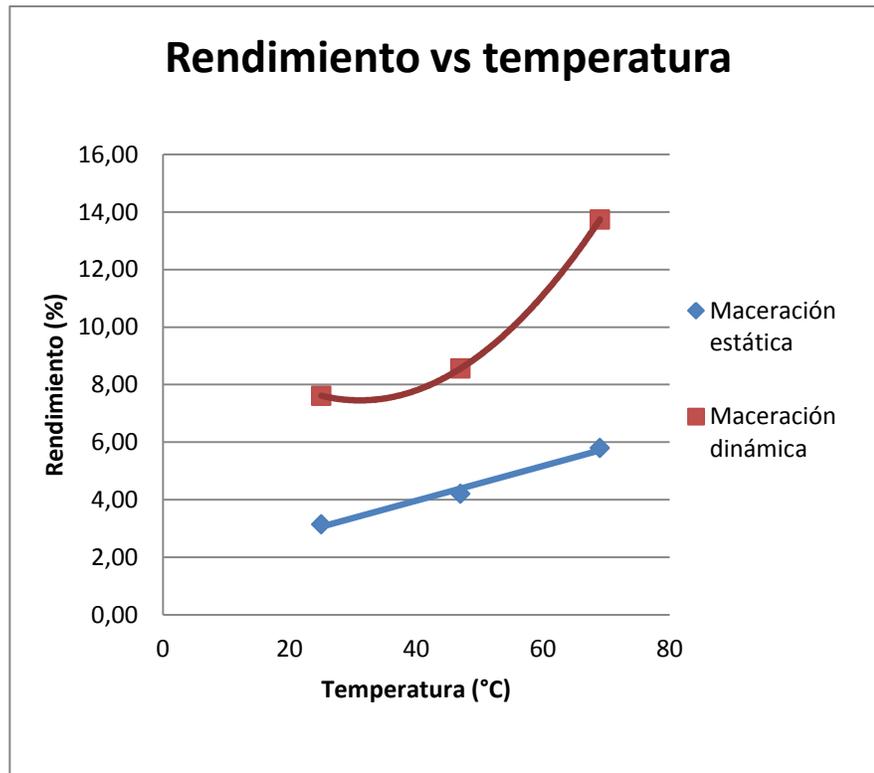
En las tablas XLI a XLVI se incluye los resultados finales luego de realizado el análisis matemático y estadístico respectivo utilizando para ello los datos originales obtenidos en el proyecto de investigación llevado a cabo en el Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala y en el Instituto de Investigaciones Biológicas, Químicas y Biofísicas de la Universidad Mariano Gálvez; para su interpretación y conclusión.

Tabla XLI. **Porcentaje de rendimiento del aceite fijo de la semilla de cacao**

<b>Método</b>	<b>Maceración</b>	<b>Maceración</b>
<b>Temperatura</b>	<b>estática</b>	<b>dinámica</b>
<b>(°C)</b>	<b>con reflujo</b>	<b>con reflujo</b>
<b>25</b>	3,15 ± 0,43	7,61 ± 0,17
<b>47</b>	4,20 ± 0,67	8,56 ± 0,72
<b>69</b>	5,80 ± 1,14	13,74 ± 3,73

Fuente: elaboración propia, con base a las tablas XVII-XIX.

Figura 14. **Porcentaje de rendimiento del aceite fijo de la semilla de cacao**



Fuente: elaboración propia, con base a tabla XLI.

Tabla XLII. **Modelo matemático de la extracción del aceite fijo de la semilla de cacao**

Color	Maceración con reflujo	Modelo matemático	R <sup>2</sup>
	Estática	$\%R = 0.0603T + 1.5515$	1,00
	Dinámica	$\%R = 0.0044T^2 - 0.2715T + 11.67$	0,99

Fuente: elaboración propia, con base a la figura 14.

Tabla XLIII. **Determinación de los índices de calidad del aceite fijo obtenido de la semilla de cacao**

Índice	Maceración con reflujo	
	Estática	Dinámica
<b>Yodo</b>	10,71 ± 3,66	12,09 ± 4,67
<b>Saponificación</b>	7,29 ± 1,61	7,22 ± 1,59
<b>% AGL</b>	4,57 ± 1,52	4,09 ± 1,29
<b>% MPI</b>	17,55 ± 3,98	14,13 ± 4,23
<b>Peróxidos (meq/1000 g)</b>	14,83 ± 9,03	9,87 ± 0,11
<b>% Gomas</b>	39,57 ± 5,58	69,85 ± 17,85
<b>Punto frio (°C)</b>	24,33 ± 0,58	24,33 ± 0,59

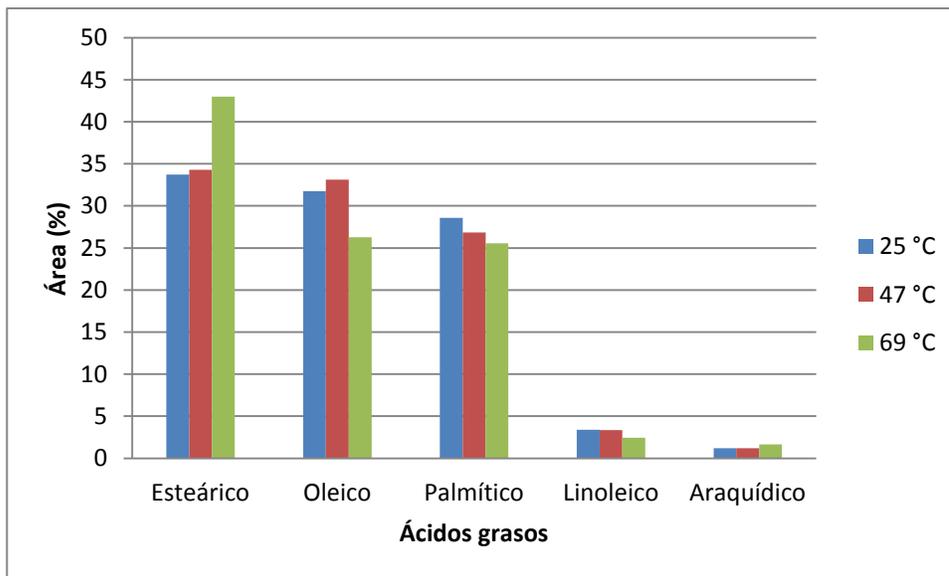
Fuente: elaboración propia, con base a las tablas XXI-XXVII.

Tabla XLIV. **Perfil de ácidos grasos en el aceite fijo obtenido de la semilla de cacao**

Núm.	Ácido graso	Área (%)
1	Esteárico	36,990 ± 5,186
2	Oleico	30,136 ± 4,034
3	Palmítico	27,222 ± 1,197
4	Linoleico	3,060 ± 0,524
5	Araquídico	1,343 ± 0,248

Fuente: elaboración propia, con base a las tablas XXVIII-XXX.

Figura 15. **Perfil de ácidos grasos en el aceite fijo de la semilla de cacao en función de la temperatura**



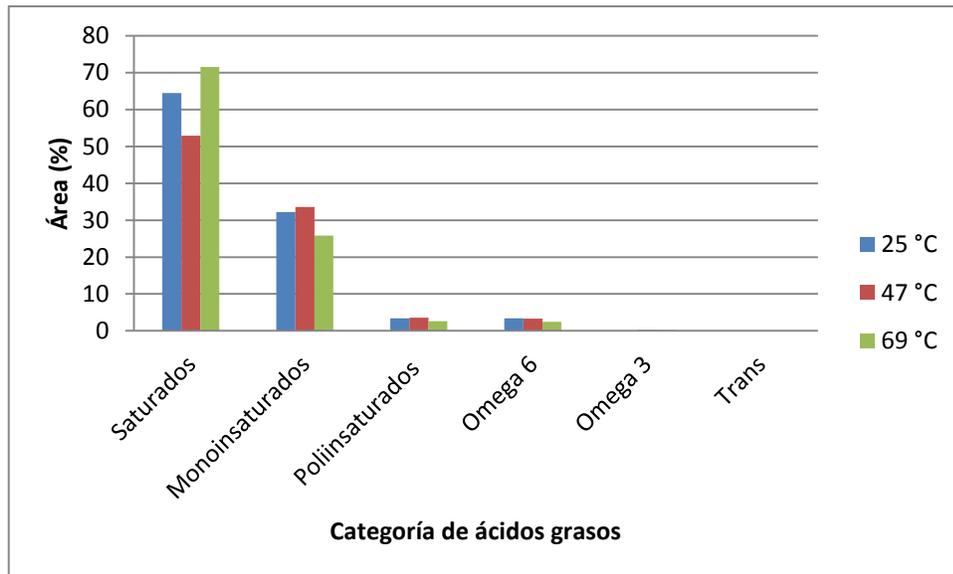
Fuente: elaboración propia, con base a las tablas XXVIII-XXX.

Tabla XLV. **Categoría de ácidos grasos en el aceite fijo de la semilla de cacao**

Núm.	Ácidos grasos	Total (%)
1	Saturados	62,949 ± 9,394
2	Monoinsaturados	30,529 ± 4,107
3	Poliinsaturados	3,190 ± 0,499
4	Omega 6	3,060 ± 0,529
5	Omega 3	0,133 ± 0,115
6	Trans	No detectado

Fuente: elaboración propia, con base a las tablas XXXI-XXXIII.

Figura 16. **Categoría de ácidos grasos presentes en el aceite fijo de la semilla de cacao en función de la temperatura**



Fuente: elaboración propia, con base a las tablas XXXI-XXXIII.

Tabla XLVI. **Cumplimiento de hipótesis**

Hipótesis referente a	F	F crítico	Cumplimiento de tesis	
			Nula	Alternativa
Rendimiento de aceite fijo en función del método de extracción.	20,650	4,494		X
Rendimiento de aceite fijo en función de la temperatura de extracción.	2,564	3,682	X	
Ácidos grasos del aceite fijo en función de la temperatura de extracción.	4,414E-06	3,885	X	

Fuente: elaboración propia, con base a la tabla XL.



## 5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

En el presente trabajo de graduación se realizó la extracción del aceite fijo de la semilla de cacao criollo (*Theobroma cacao* L.) con el objetivo de evaluar el rendimiento extractivo y realizar su caracterización fisicoquímica por medio de índices de calidad y perfil de ácidos grasos.

Se trabajó con cacao proveniente del municipio San Miguel Panán del departamento de Suchitepéquez. Como pretratamiento de la materia prima se realizó un tueste para luego descascarar las semillas. Previo a realizar la extracción, se realizó una disminución del tamaño de partícula, utilizando para ello un molino de tornillo sin fin, en forma de extrusor con discos para granos.

Se realizó una serie de pruebas extractivas preliminares para determinar el tiempo óptimo de extracción por medio de la técnica Soxhlet y el espectrofotómetro UV-VIS, para determinar el punto de agotamiento final de la materia prima. Al dedal de celulosa se agregaron 20 gramos de cacao molido, utilizando como solvente extractivo hexano.

Se tomó una alícuota de solvente como blanco para el espectrofotómetro, siendo este el valor de la absorbancia, indicador del final del proceso extractivo. Antes de concluido el primer ciclo, se tomó la primera muestra por medio de una sonda para determinar la absorbancia inicial del extracto hexanólico. Se registró cada media hora el descenso de la absorbancia de dicho extracto, concluyendo dicho proceso al obtener una absorbancia igual al blanco. El tiempo óptimo para la extracción fue de 3 horas.

Una vez obtenido el tiempo óptimo de extracción, se procedió a realizar las extracciones correspondientes a cada una de las temperaturas de trabajo (25 °C, 47 °C y 69 °C), por cada uno de los métodos analizados (maceración estática y maceración dinámica). Para cada una de las extracciones realizadas se utilizó 125 gramos de cacao molido y 250 mL de hexano como solvente extractivo; es decir, una relación 1:2 masa/volumen.

Para las extracciones fue necesario utilizar una plancha de calentamiento y agitación, así como un termómetro de mercurio para el control de la temperatura. Luego de obtener el producto hexano–aceite, fue necesario realizar una separación de estos componentes por medio de rotaevaporación, cuyo principio de funcionamiento está basado en la generación de vacío para la disminución del punto de ebullición del solvente para condensarlo por aparte y obtener finalmente el aceite.

Una vez realizada la separación del aceite y el solvente, se evaluó el rendimiento final, es decir, la masa obtenida de aceite fijo por la cantidad inicial de materia prima. Se analizó entonces, el rendimiento extractivo en función de la temperatura y el método de extracción; dichos datos en función de la temperatura se muestran en la tabla XLI, los cuales indican que al aumentar la temperatura, se obtiene un mayor rendimiento, sin embargo, al realizar un análisis estadístico, el cual se muestra en la tabla XXXVI, se concluye que no hay diferencia significativa entre dichos resultados, esto debido a la alta variación entre cada uno de los tratamientos realizados, ocasionando así una variación estándar elevada, a pesar de la notable separación entre el promedio de los mismos.

De la misma forma se realizó un análisis estadístico comparando los métodos de extracción, en el cual se concluye que, sí se tiene diferencia significativa. Considerando que el mayor rendimiento se obtuvo al utilizar el método de maceración dinámica con reflujo, se concluye finalmente que, para obtener un rendimiento extractivo mayor debe utilizarse agitación durante el proceso.

Se procedió entonces, a realizar un análisis de la calidad del aceite considerando distintos índices o módulos que, en la industria de aceites y grasas, ayudan a caracterizar las muestras oleaginosas. Los análisis realizados fueron: índice de yodo, índice de saponificación, porcentaje de ácidos grasos libres, porcentaje de materia prima insaponificable, cantidad de peróxidos, porcentaje de gomas y punto frío.

El índice de yodo consiste en determinar el grado de insaturaciones, propiciando una reacción de sustitución en los ácidos grasos del aceite. Los resultados obtenidos de forma experimental indican que el índice de yodo más elevado corresponde a las extracciones realizadas a temperatura ambiente. Un índice de yodo alto indica una mayor cantidad de yodo sin reaccionar y considerando que el yodo reacciona con las insaturaciones de los ácidos grasos, una mayor cantidad de yodo libre indica una baja cantidad de insaturaciones en el aceite. Dado lo anterior se concluye que el aceite obtenido a temperatura ambiente posee una menor cantidad de ácidos grasos insaturados.

Uno de los principales usos de los aceites y grasas consiste en la elaboración de jabón. La capacidad de un aceite para producir jabón o bien saponificarse, se determina por medio del índice de saponificación. Luego de realizado el análisis de índice de saponificación a las muestras obtenidas, se

verifica que no existe mayor diferencia entre los resultados, por lo que tanto, el método como la temperatura no implica una variación considerable en la capacidad de elaborar jabón con base de aceite de cacao.

Resultados similares se obtuvieron al analizar de forma similar el porcentaje de ácidos grasos libres. Luego de realizado dicho análisis, se observó poca diferencia entre la cantidad de ácidos grasos libres presentes en el extracto por maceración estática y en el extracto por maceración dinámica; de igual forma con la temperatura de extracción por lo que, al igual que con el índice de saponificación, independientemente del método extractivo y la temperatura, se obtendrá una cantidad similar de ácidos grasos libres. La cantidad de ácidos grasos libres guarda relación con la capacidad de un aceite a la saponificación, ya que, a mayor cantidad de ácidos grasos libres, mayor capacidad de producir jabón. De esto es comprensible la similitud de resultados entre ambos índices de calidad.

Otro de los índices de calidad que tiene relación con la capacidad de elaborar jabón es la cantidad de materia prima insaponificable. Este índice indica la cantidad de materia prima residual luego de realizada la reacción de saponificación. Dada la relación que este índice guarda con los dos índices anteriores, se esperaría un comportamiento similar, sin embargo, los resultados obtenidos indican que al realizar la extracción por maceración dinámica, la cantidad de materia prima insaponificable es menor. Dado lo anterior, se concluye entonces, que la agitación a pesar de no tener implicación química en la reacción, físicamente la acción mecánica ayuda a un mejor flujo interno en el sistema, por lo que la solución alcalina logra abarcar un mayor espacio a lo largo de la superficie del aceite utilizado.

Uno de los mayores cuidados que debe tenerse en el manejo de aceites y grasas, es el enranciamiento de los mismos. Las sustancias que dan indicación del enranciamiento de un aceite son los peróxidos presentes. Un aceite con una mayor cantidad de peróxidos tiende a enranciarse más rápido o bien, con mayor facilidad. Visto de otra manera, el índice de peróxidos indica el nivel de oxidación inicial de un aceite, por lo que un mayor índice de peróxidos implica un menor carácter antioxidante del mismo. Según los datos obtenidos, no se presentó diferencia significativa entre la cantidad de peróxidos en el aceite obtenido por cada uno de los métodos, así como con cada una de las temperaturas de trabajo.

Durante el tratamiento de aceites comestibles, se realiza un proceso conocido como desgomado. Este proceso consiste en eliminar las sustancias resinosas del aceite para producir un aceite refinado. Debido a esto es necesario conocer la cantidad de gomas presentes en un aceite. Una menor cantidad de gomas implicaría un aceite más fino. Al analizar los resultados obtenidos, puede observarse una mayor cantidad de gomas al utilizar el método extractivo por maceración dinámica; esto debido a que la agitación promueve la acumulación de grumos formados por sustancias más viscosas. Esto implicaría un proceso de desgomado más exhaustivo en el caso específico de maceración dinámica.

El punto frío de un aceite indica la temperatura a la cual un aceite comienza a cristalizarse. Dicha temperatura es importante, principalmente para el manejo necesario, ya que un aceite con un bajo punto frío no necesitaría de una temperatura muy elevada para poder fluidificarse, por lo que su transporte por tuberías sería más fácil. Caso contrario, un aceite con un punto frío elevado presentaría la dificultad de que necesitaría estar a una temperatura elevada para poder bombearlo a través de espacios cerrados; se preferiría manejarlo y

transportarlo como un sólido. Según los datos obtenidos, el punto frío de un aceite no depende del método extractivo ni de la temperatura de extracción, ya que es una propiedad intrínseca a este. El aceite de cacao tiene un punto frío alrededor de la temperatura ambiental, esto indica que en su mayoría, el manejo y transporte de este aceite debe realizarse como un sólido o bien, sería necesario llevar dicho aceite a una temperatura elevada superior a su punto frío, para poder manejarlo como un fluido.

Para finalizar la caracterización fisicoquímica del aceite, se realizó un perfil de ácidos grasos. En los análisis realizados se encontró que el aceite de cacao posee en su mayoría ácido esteárico, oleico, palmítico, linoléico y araquídico. Comparando los resultados con la tabla I de porcentajes teóricos, estos son consistentes. La tabla XXXIX muestra el análisis estadístico para determinar si varía los ácidos grasos del aceite fijo obtenidos en función de la temperatura, indicando que no existe diferencia significativa, en otras palabras, la temperatura no influye en los ácidos carboxílicos extraídos.

Con base en estos resultados se determinó el porcentaje de ácidos grasos saturados, ácidos grasos monoinsaturados, ácidos grasos poliinsaturados, omega 3, omega 6 y ácidos grasos trans; siendo los ácidos saturados los que se encuentran en mayor cantidad con alrededor de 33 % del total de los grasos; seguido de los ácidos grasos monoinsaturados con alrededor de 30 % del total de ácidos grasos. Estos datos son consistentes con los valores altos de índice de yodo, explicado con anterioridad, el cual indicaba una baja cantidad de insaturaciones presentes en el aceite.

## CONCLUSIONES

1. Sí existe diferencia significativa en el porcentaje de rendimiento extractivo del aceite fijo de la semilla de cacao en función del método utilizado, siendo mayor el obtenido por maceración dinámica con reflujo.
2. No existe diferencia significativa en el porcentaje de rendimiento extractivo en función de la temperatura, siendo de: 3,15 % (25 °C), 4,20 % (47 °C) y 5,80 % (69 °C), para el método de maceración estática con reflujo y de 7,61, 8,56 y 13,74 %, respectivamente para el método de maceración dinámica con reflujo.
3. El porcentaje de rendimiento extractivo en función de la temperatura para el método extractivo de maceración estática, se ajusta a un modelo matemático lineal y, para maceración dinámica, a un modelo matemático polinomial de grado dos.
4. Los índices en función del método de extracción fueron de; yodo: 10,71 (maceración estática con reflujo) y 12,09 (maceración dinámica con reflujo), saponificación: 7,29 y 7,22, acidez: 4,57 y 4,09 %, materia prima insaponificable: 17,55 y 14,13 %, peróxidos 14,83 y 9,87 meq/1 000 g, gomas: 39,57 y 69,85 % y punto frío: 24,33 °C para ambos métodos.
5. Los ácidos grasos predominantes en el aceite fijo de cacao criollo son ácido esteárico, oleico, palmítico, linoleico y araquídico, siendo en su mayoría, ácidos grasos saturados y ácidos grasos monoinsaturados.

6. No existe diferencia significativa en la detección del perfil de ácidos grasos presentes en el aceite fijo de la semilla de cacao, en función de la temperatura de extracción.

## RECOMENDACIONES

1. Realizar el estudio con extracciones de aceite fijo de cacao proveniente de otras regiones.
2. Llevar a cabo las extracciones de aceite fijo con otro solvente apolar, para evaluar su rendimiento y los componentes químicos extraídos.
3. Efectuar la extracción de aceite fijo a escala planta piloto.
4. Desarrollar la aplicación del aceite fijo en confitería, cosméticos, alimentos y productos de limpieza.
5. Obtener otros extractos del cacao para tener mayor diversidad de productos en la industria.



## BIBLIOGRAFÍA

1. ARRIAGA, Claudia Lorena. *Contenido de ácidos grasos de la manteca proveniente de mezclas, en distintas fracciones, de semillas de Theobroma cacao y Theobroma bicolor y su uso en la manufactura de chocolate*. Trabajo de graduación de Lic. en Química. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, 2007. 50 p.
2. BARRONDO LIMA, Ana Sofía; MONTENEGRO CONTRERAS, Mónica Marisol. *Evaluación y caracterización fisicoquímica de aceite fijo obtenido por extrusión en frío de cuatro especies nativas de Guatemala de la familia Rosaceae: Rubus tupy, Rubus kiowa, Rubus occidentalia y Rubus gructicosus*. Trabajo de graduación de Lic. en Química Farmacéutica. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, 2012. 68 p.
3. BAILEY, Alton E. *Aceites y grasas industriales*. 2a ed. España: Reverté, 1984. 743 p.
4. DORADEA CRUZ, Jorge Antonio. *Evaluación del rendimiento y calidad del aceite fijo de pulpa de aguacate (Persea americana Hass) obtenido por expresión en frío en función del proceso de secado*. Trabajo de graduación de Ing. Química. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2013. 162 p.

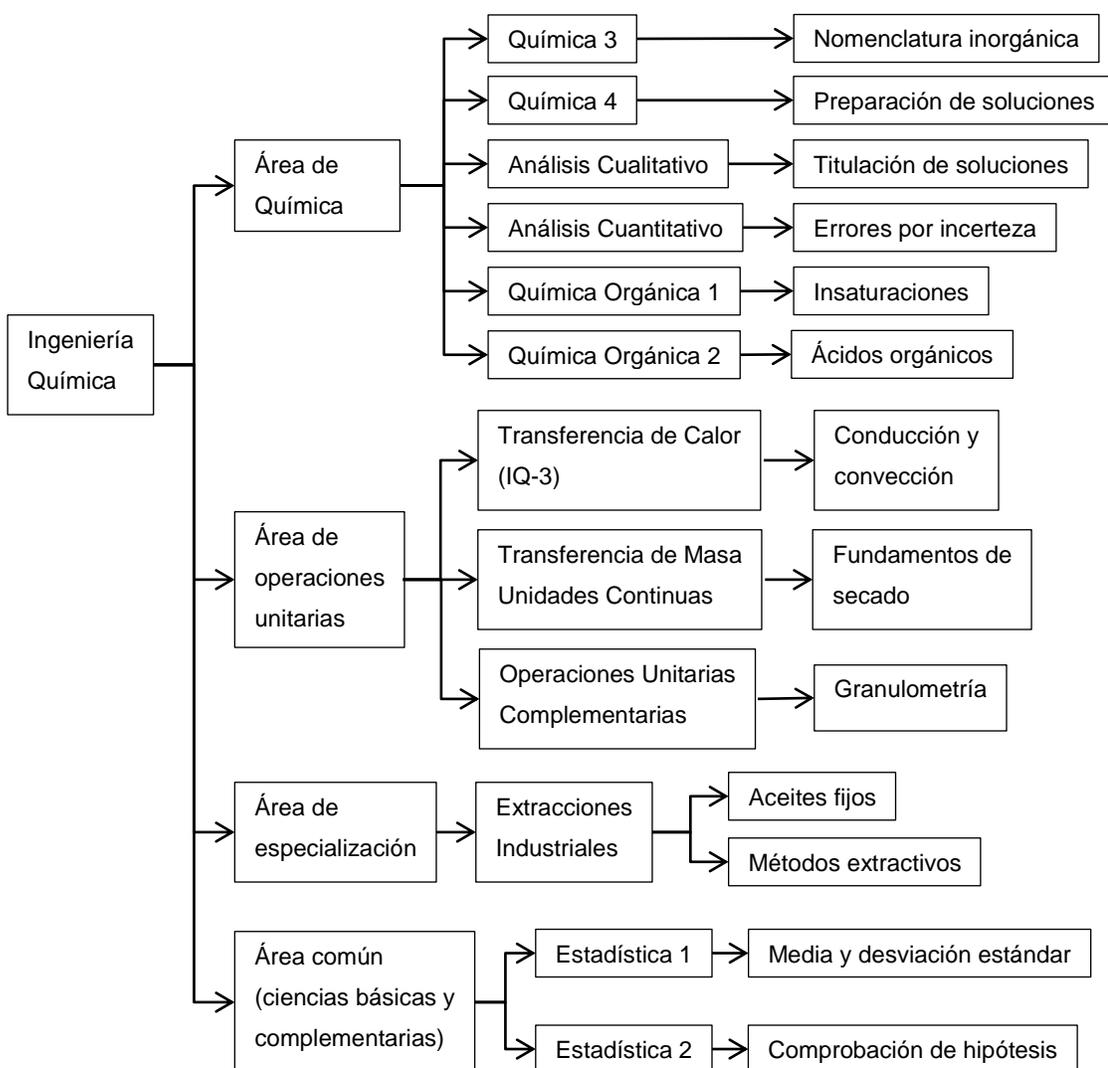
5. ENRÍQUEZ, Gustavo A. *Curso sobre el cultivo del cacao*. Costa Rica: Serie materiales de enseñanza, 1985. 239 p.
6. FIGUEROA FUENTES, Evelyn Lissette. *Evaluación del rendimiento y caracterización fisicoquímica de la extracción de la fracción lipídica de la copra de coco (Cocos nucífera L.) variedad verde utilizando tres solventes a escala laboratorio*. Trabajo de graduación de Ing. Química. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2013. 151 p.
7. LUNA ZÚÑIGA, Glenda Rocío *Análisis fisicoquímico y evaluación del rendimiento de extracción del aceite de semilla de morro (Cresecentia alata HBK) proveniente de las regiones de Estanzuela, Zacapa y San Agustín Acasaguastlán, El Progreso*. Trabajo de graduación de Ing. Química. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2007. 153 p.
8. MILTON, J. Susan. *Probabilidad y estadística con aplicaciones para ingeniería y ciencias computacionales*. 4a ed. México: McGraw-Hill, 2004. 804 p.
9. MONTGOMERY, Douglas C. *Probabilidad y estadística aplicadas a la ingeniería*. 2a ed. México: Limusa Wiley, 2007. 948 p.
10. RAMÍREZ OVALLE, Lourdes María. *Evaluación del rendimiento de extracción y caracterización fisicoquímica del aceite fijo de café tostado tipo genuino Antigua obtenido por el proceso de prensado*. Trabajo de graduación de Ing. Química. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2008. 163 p.

11. SHARAPIN, Nikolai. *Fundamentos de tecnología de productos fitoterapéuticos*. Colombia: Convenio Andrés Bello, 2000. 240 p.
12. SOBERANIS IBÁÑEZ, Adrián Antonio. *Evaluación de propiedades fisicoquímicas de la oleorresina de cardamomo (*Elletteria cardamomum* L. Matton) obtenida a nivel laboratorio utilizando dos métodos de lixiviación a tres diferentes temperaturas*. Trabajo de graduación de Ing. Química. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2013. 2013 p.



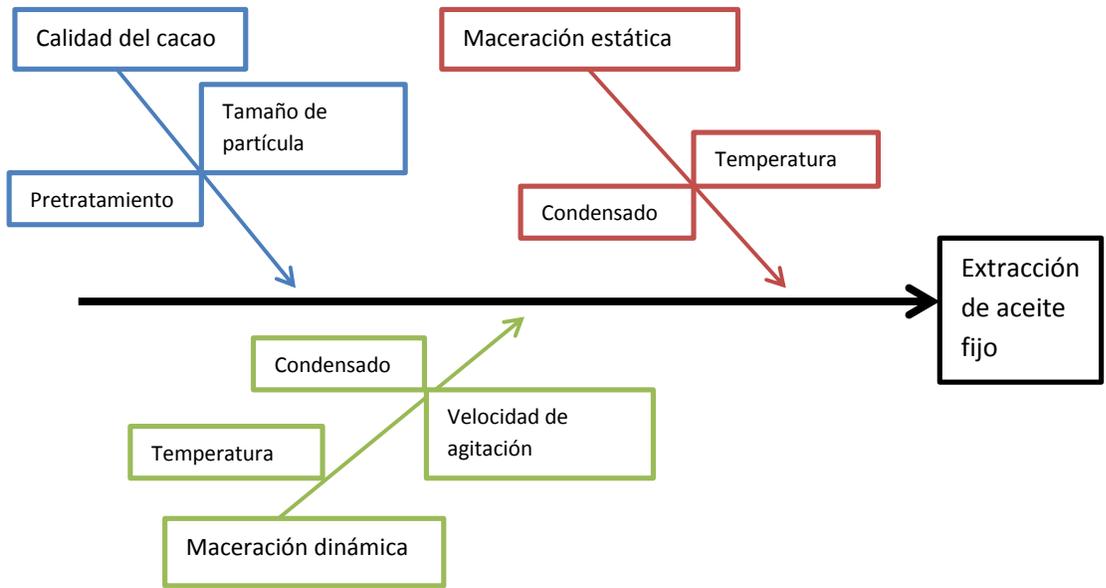
# APÉNDICES

## Apéndice 1. Requisitos académicos



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. Diagrama de Ishikawa



Fuente: elaboración propia.

## Apéndice 3. Desarrollo experimental

### Molienda de la materia prima



Fuente: elaboración propia llevada a cabo en el Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales (LIEXVE).

### Pruebas preliminares



Fuente: elaboración propia llevada a cabo en el Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales (LIEXVE).

Continuación de apéndice 3.

### Extracción de aceite fijo

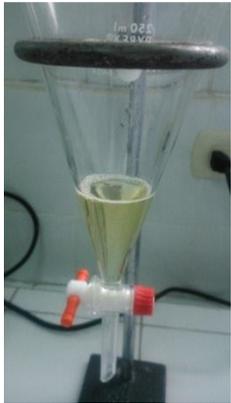


Fuente: elaboración propia llevada a cabo en el Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales (LIEXVE).

### Índices de calidad



Continuación de apéndice 3.



Continuación de apéndice 3.



Fuente: elaboración propia llevada a cabo en el Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales (LIEXVE).

# ANEXOS

## Anexo 1. Perfil de ácidos grasos del aceite fijo de cacao en función de la temperatura

Se presentan en orden ascendente de temperatura de extracción.

			
UNIVERSIDAD MARIANO GALVEZ DE GUATEMALA		INSTITUTO DE INVESTIGACIONES QUÍMICAS • BIOLÓGICAS • BIOMÉDICAS	
HC-89-0576-2015		Página 1 de 2	
<b>INFORME DE RESULTADOS No. HC-89-0576-2015</b> <b>ANÁLISIS DE PERFIL DE ÁCIDOS GRASOS SATURADOS, MONOINSATURADOS, POLIINSATURADOS, CIS, TRANS, OMEGA 3 Y OMEGA 6, EN ACEITES Y GRASAS, POR CROMATOGRAFÍA GASEOSA Y DETECTOR DE LLAMA DE IONIZACIÓN (FID)</b>			
<b>DATOS GENERALES</b>			
Datos del Cliente			
Nombre: Iván Eduardo de León Barriento			
Dirección: Zona 6 Proyecto 4-3			
Identificación y Descripción de la Muestra			
Muestra 1Cacao criollo Semisólido color crema			
Fecha de ingreso de la muestra (aaaa/mm/dd) 2015/09/23		Código de muestra del Laboratorio 0753150923Q	
Fecha de análisis de la muestra (aaaa/mm/dd) 2015/10/07		No. de Cromatograma asociado agrascacao001 D	
<b>MÉTODO DE ENSAYO</b>			
Muestras analizadas según Método Oficial AOAC 969.33, Ed. 18, 2005			
<b>RESULTADOS</b>			
ÁCIDO GRASO	t <sub>R</sub> (min)	PORCENTAJE (área / área)	
Caprílico (C6:0)	-	No detectado	
Caprílico (C8:0)	9.03	0.1	
Caprílico (C10:0)	9.77	0.1	
Undecanoico (C11:0)	-	No detectado	
Laúrico (C12:0)	11.16	0.4	
Tridecanoico (C13:0)	-	No detectado	
Mirístico (C14:0)	13.65	0.1	
Mirístico (C14:1n9)	-	No detectado	
Pentadecanoico (C15)	-	No detectado	
cis-10-Pentadecanoico (C15:1)	-	No detectado	
Palmitico (C16:0)	18.14	28.564	
Palmitico (C16:1, como suma de isómeros)	20.20	0.4	
Margarico (C17:0)	21.54	0.2	
cis-10-Heptadecanoico (C17:1)	-	No detectado	
Estearico (C18:0)	26.21	33.708	
trans-Oleico (trans C18:1, como suma de isómeros)	-	No detectado	
Oleico (cis C18:1, como suma de isómeros)	29.23	31.762	
trans-Linolico (trans C18:2, como suma de isómeros)	-	No detectado	
Linolico (cis C18:2, como suma de isómeros)	34.74	3.40	
gamma-Linolico (C18:3n6)	-	No detectado	
Aracídico (C20:0)	40.46	1.2	
trans-Linolénico (trans C18:3 como suma de isómeros)	-	No detectado	
Linolénico (C18:3 como suma de isómeros)	42.96	Traza	
cis-11-Eicosanoico (C20:1n9)	-	No detectado	

HC-89/10

Continuación del anexo 1.



UNIVERSIDAD MARIANO GALVEZ  
DE GUATEMALA



INSTITUTO DE INVESTIGACIONES  
QUÍMICAS • BIOLÓGICAS • BIOMÉDICAS

HC-89-0576-2015

Página 2 de 2

RESULTADOS		
ACIDO GRASO	t <sub>r</sub> (min)	PORCENTAJE (área / área)
Heptacosanoico (C21:0)	-	No detectado
cis-11,14-Eicosadienoico (C20 2n6)	-	No detectado
cis-8,11,14-Eicosatrienoico	-	No detectado
Behénico (C22 0)	-	No detectado
Arquidónico (cis C20:4n6)	-	No detectado
Erucico (C22:1n9)	-	No detectado
Tricosanoico (C23:0)	-	No detectado
EPA (C20:5n3)	-	No detectado
cis-13,16-Docosadienoico (C22:2)	-	No detectado
Lignocérico (C24:0)	-	No detectado
Nervónico (C24:1n9)	-	No detectado
DHA (C22:6n3)	-	No detectado

Nota 1. t<sub>r</sub> (min) = Tiempo de retención en minutos

Nota 2. Los ácidos grasos reportados como suma de isómeros cis o trans (suma de varios picos) tienen asignado el tiempo de retención (t<sub>r</sub>) del isómero mayoritario.

Nota 3. La información de los trans C18:1, C18:2 y C18:3 está basada en la coincidencia contra el material de referencia y en el perfil cromatográfico según AOCS Official Method Ce 1h-05, Pag. 20 de 22.

Nota 4. Los resultados se expresan de manera porcentual cuando la relación señal/ruído del pico es mayor que 10 y se reporta como trazas cuando la relación señal/ruído está entre 5 y 10. Por debajo de 5 se reporta como no detectado.

COMPOSICION POR CATEGORIAS	TOTAL (%)
ACIDOS GRASOS SATURADOS	64.402
ACIDOS GRASOS MONOINSATURADOS	32.196
ACIDOS GRASOS POLIINSATURADOS	3.40
ACIDOS GRASOS TRANS	ND*
ACIDOS GRASOS OMEGA 3	Trazas
ACIDOS GRASOS OMEGA 6	3.40

OBSERVACIONES: \* A pesar de que no contamos con los estándares individuales de todos los ácidos trans presentes en la muestra, el total de ácidos grasos trans se reporta tomando en cuenta el AOCS, Official Method Ce 1h-05, Pag 20 de 22, de acuerdo a lo cual no se encontraron picos corresponden a ácidos trans.

Fecha de emisión de Informe: 09/10/2015

x   
Licda. Tania Monterroso  
Asistente Profesional de Servicio

Vo.Bo.   
Dra. Claudia de León  
Coordinador del Área de Química

Los resultados de este informe con sus conclusiones únicamente a la muestra tal y como fue recibida en el laboratorio.  
El informe es válido únicamente en su versión impresa y en papel fabricado en el país original del Instituto de Investigaciones de la Universidad Mariano Galvez.  
El Instituto de Investigaciones de la Universidad Mariano Galvez no se hace responsable de la transcripción o reproducción parcial de este informe.

HC-89/10

Continuación del anexo 1.



UNIVERSIDAD MARIANO GALVEZ  
DE GUATEMALA



INSTITUTO DE INVESTIGACIONES  
QUÍMICAS • BIOLÓGICAS • MÉDICAS • BIOTECNOLÓGICAS

HC-89-0577-2015

Página 1 de 2

INFORME DE RESULTADOS No. HC-89-0577-2015  
ANÁLISIS DE PERFIL DE ÁCIDOS GRASOS SATURADOS, MONOINSATURADOS, POLIINSATURADOS, CIS, TRANS, OMEGA 3 Y OMEGA 6, EN ACEITES Y GRASAS, POR CROMATOGRAFÍA GASEOSA Y DETECTOR DE LLAMA DE IONIZACIÓN (FID)

DATOS GENERALES	
Datos del Cliente	
Nombre:	Iván Eduardo de León Barriento
Dirección:	Zona 6 Proyecto 4-3
Identificación y Descripción de la Muestra	
Muestra 2 Cacao criollo	
Semisólido color crema	
Fecha de Ingreso de la muestra (aaaa/mm/dd)	Código de muestra del Laboratorio
2015/09/23	0754150923Q
Fecha de análisis de la muestra (aaaa/mm/dd)	No. de Cromatograma asociado
2015/10/07	acgrascacao003.D

MÉTODO DE ENSAYO  
Muestras analizadas según Método Oficial AOAC 969.33, Ed. 18, 2005

RESULTADOS		
ÁCIDO GRASO	t <sub>R</sub> (min)	PORCENTAJE (area / área)
Caproico (C6:0)	-	No detectado
Caprílico (C8:0)	9.03	< 0.1
Cáprico (C10:0)	9.80	Trazas
Undecanoico (C11:0)	-	No detectado
Laúrico (C12:0)	11.16	Trazas
Tridecanoico (C13:0)	-	No detectado
Mirístico (C14:0)	13.65	0.1
Mirístico (C14:1n9)	-	No detectado
Pentadecanoico (C15)	15.58	< 0.1
cis-10-Pentadecenoico (C15:1)	-	No detectado
Palmitico (C16:0)	18.25	26.839
Palmitico (C16:1, como suma de isómeros)	20.22	0.4
Margarico (C17:0)	21.56	0.2
cis-10-Heptadecenoico (C17:1)	-	No detectado
Estearico (C18:0)	25.50	34.283
trans-Oleico (trans C18:1, como suma de isómeros)	-	No detectado
Oleico (cis C18:1, como suma de isómeros)	29.51	33.103
trans-Linolico (trans C18:2 como suma de isómeros)	-	No detectado
Linolico (cis C18:2, como suma de isómeros)	34.83	3.33
gamma-Linolénico (C18:3n6)	-	No detectado
Araquidico (C20:0)	40.51	1.20
trans-Linolénico (trans C18:3 como suma de isómeros)	-	No detectado
Linolénico (C18:3 como suma de isómeros)	43.01	0.2
cis-11-Eicosenoico (C20:1n9)	45.44	Trazas

HC-89/10

Continuación del anexo 1.



UNIVERSIDAD MARIANO GALVEZ  
DE GUATEMALA



INSTITUTO DE INVESTIGACIONES  
QUÍMICAS • BIOLÓGICAS • BIOMÉDICAS • BIOFÍSICAS

HC-89-0577-2015

Página 2 de 2

RESULTADOS		
ACIDO GRASO	t <sub>R</sub> (min)	PORCENTAJE (área / área)
Heptacosano (C21:0)	-	No detectado
cis-11,14-Eicosadienoico (C20:2n6)	-	No detectado
cis-8,11,14-Eicosatrienoico	-	No detectado
Behénico (C22:0)	66.21	0.3
Araquidónico (cis C20:4n6)	-	No detectado
Erucico (C22:1n7)	-	No detectado
Tricosano (C23:0)	-	No detectado
EPA (C20:5n3)	-	No detectado
cis-13,16-Docosadienoico (C22:2)	-	No detectado
Lignocérico (C24:0)	101.26	Trazas
Nervónico (C24:1n7)	-	No detectado
DHA (C22:6n3)	-	No detectado

Nota 1: t<sub>R</sub> (min) = Tiempo de retención en minutos.

Nota 2: Los ácidos grasos reportados como suma de isómeros cis o trans (suma de varios picos) tienen asignado el tiempo de retención (t<sub>R</sub>) del isómero mayoritario.

Nota 3: La información de los trans C18:1, C18:2 y C18:3 está basada en la coincidencia contra el material de referencia y en el perfil cromatográfico según AOCS Official Method Ce 1h-05, Pág. 20 de 22.

Nota 4: Los resultados se expresan de manera porcentual cuando la relación señal/ruído del pico es mayor que 10 y se reporta como trazas cuando la relación señal/ruído está entre 5 y 10. Por debajo de 5 se reporta como no detectado.

COMPOSICIÓN POR CATEGORÍAS	TOTAL (%)
ACIDOS GRASOS SATURADOS	52.913
ACIDOS GRASOS MONOINSATURADOS	33.541
ACIDOS GRASOS POLIINSATURADOS	3.55
ACIDOS GRASOS TRANS	ND*
ACIDOS GRASOS DMEGA 3	0.20
ACIDOS GRASOS DMEGA 6	3.33

**OBSERVACIONES:** \* A pesar de que no contamos con los estándares individuales de todos los ácidos trans presentes en la muestra, el total de ácidos grasos trans se reporta tomando en cuenta el AOGS, Official Method Ce 1h-05, Pág. 20 de 22, de acuerdo a lo cual no se encontraron picos corresponden a ácidos trans.

Fecha de emisión de Informe: 09/10/2015

  
Lidia Tania Monterroso  
Asistente Profesional de Servicio

Vo.Bo.   
Dra. Claudia de León  
Coordinador del Área de Química

Los resultados de este informe corresponden únicamente a la muestra de y como fue recibida en el laboratorio.  
El presente informe fue generado en su versión impresa y en línea en el laboratorio de Química del Instituto de Investigaciones de la Universidad Mariano Galvez.  
El Instituto de Investigaciones de la Universidad Mariano Galvez no se hace responsable de la interpretación o reproducción parcial de este informe.

HC-89/10

3a. Avenida 9-00, Zona 2, Interior Finca El Zapote, 01002 Guatemala, Apartado Postal 1811  
Tel.: PBX: (502) 2411-1800 Ext. 1310 / 1176 , + Fax: Ext. 1189 + Directo (502) 2288-9372  
Página Web: <http://iiqb3b.umg.edu.gt/> / e-mail: [iiqb3@umg.edu.gt](mailto:iiqb3@umg.edu.gt)

Fuente: Instituto de Investigaciones Químicas, Biológicas, Biomédicas y Biofísicas.