



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

**EVALUACION DEL RENDIMIENTO DE LA FRACCIÓN EXTRACTABLE DEL CAFÉ VERDE  
ORO (*Coffea arábica L.*) PROVENIENTE DE LOS DEPARTAMENTOS DE SACATEPÉQUEZ  
Y QUICHÉ, SU CARACTERIZACIÓN FISCOQUÍMICA Y COMPOSICIÓN QUÍMICA A  
ESCALA LABORATORIO**

**Luis Manuel Sut León**

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

Guatemala, octubre de 2021

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO DE LA FRACCIÓN EXTRACTABLE DEL CAFÉ VERDE  
ORO (*Coffea arábica L.*) PROVENIENTE DE LOS DEPARTAMENTOS DE SACATEPÉQUEZ  
Y QUICHÉ, SU CARACTERIZACIÓN FISCOQUÍMICA Y COMPOSICIÓN QUÍMICA A  
ESCALA LABORATORIO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**LUIS MANUEL SUT LEÓN**

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

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO QUÍMICO**

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2021

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Kevin Vladimir Armando Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADOR	Ing. Mario José Mérida Meré
EXAMINADOR	Ing. Gerardo Ordoñez
EXAMINADOR	Ing. Jorge Mario Estrada Asturias
SECRETARIO	Ing. Hugo Huberto Rivera Pérez

## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

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

**EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO DE LA FRACCIÓN EXTRACTABLE DEL CAFÉ VERDE ORO (*Coffea arabica L.*) PROVENIENTE DE LOS DEPARTAMENTOS DE SACATEPÉQUEZ Y QUICHÉ, SU CARACTERIZACIÓN FISCOQUÍMICA Y COMPOSICIÓN QUÍMICA A ESCALA LABORATORIO**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha julio 2018.

**Luis Manuel Sut León**



Guatemala, 04 de agosto de 2020

Ingeniero  
Williams Guillermo Álvarez Mejía  
Director de Escuela de Ingeniería Química  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos de Guatemala  
Presente

Estimado Ingeniero Álvarez:

Por medio de la presente HACEMOS CONSTAR que hemos revisado y dado nuestra aprobación al Informe Final del trabajo de graduación titulado "EVALUACION DEL RENDIMIENTO DE LA FRACCIÓN EXTRACTABLE DEL CAFÉ VERDE ORO (*Coffea arabica* L.) PROVENIENTE DE LOS DEPARTAMENTOS DE SACATEPÉQUEZ Y QUICHE, SU CARACTERIZACIÓN FISCOQUÍMICA Y COMPOSICIÓN QUÍMICA A ESCALA LABORATORIO", del estudiante de Ingeniería Química Luis Manuel Sut León quien se identifica con CUI No. 2302635691406 y registro académico número 2005-16217.

Sin otro particular nos suscribimos a usted.

Atentamente,

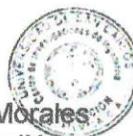
Ing. Qco. Mario José Mérida Meré  
PROFESOR INVESTIGADOR  
Escuela de Ingeniería Química/ USAC  
JEFE  
Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales -LIEXVE-  
Sección Química Industrial CII / USAC  
Asesor



INGENIERO QUÍMICO

*Mario José Mérida Meré*  
Colegiado No. 1411

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



INGENIERA QUÍMICA

*Telma Maricela Cano Morales*  
Colegiado No. 433



Guatemala, 13 de noviembre de 2020.  
Ref. EIQ.TG-IF.043.2020.

Ingeniero  
Williams Guillermo Álvarez Mejía  
DIRECTOR  
Escuela de Ingeniería Química  
Facultad de Ingeniería

Estimado Ingeniero Álvarez:

Como consta en el registro de evaluación, correlativo **027-2018**, le informo que reunidos los Miembros de la Terna nombrada por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del:

#### INFORME FINAL

Solicitado por el estudiante universitario: **Luis Manuel Sut León**.  
Identificado con número de carné: **2302635691406**.  
Identificado con registro académico: **200516217**.  
Previo a optar al título de la carrera: **Ingeniería Química**.  
En la modalidad: **Informe Final, Seminario de Investigación**.

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

### EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO DE LA FRACCIÓN EXTRACTABLE DEL CAFÉ VERDE ORO (*Coffea arábica* L.) PROVENIENTE DE LOS DEPARTAMENTOS DE SACATEPÉQUEZ Y QUICHÉ, SU CARACTERIZACIÓN FISICOQUÍMICA Y COMPOSICIÓN QUÍMICA A ESCALA LABORATORIO

El Trabajo de Graduación ha sido asesorado por:

**Mario José Mérida Meré, profesional de la Ingeniería Química**  
**Telma Maricela Cano Morales, profesional de la Ingeniería Química**

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

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

Hilda Riedad Palma Ramos de Martini  
profesional de la Ingeniería Química  
COORDINADOR DE TERNA  
Tribunal de Revisión  
Trabajo de Graduación

C.c.: archivo



Guatemala, 11 de octubre de 2021

Ref. EIQ.202.2021

**Aprobación del informe final del trabajo de graduación**

Ingeniera  
Aurelia Anabela Cordova Estrada  
Decana  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos de Guatemala

Revisado el INFORME FINAL DEL TRABAJO DE GRADUACIÓN (TESIS), DENOMINADO **EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO DE LA FRACCIÓN EXTRACTABLE DEL CAFÉ VERDE ORO (*Coffea arábica L.*) PROVENIENTE DE LOS DEPARTAMENTOS DE SACATEPÉQUEZ Y QUICHÉ, SU CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA Y COMPOSICIÓN QUÍMICA A ESCALA LABORATORIO** del(la) estudiante Luis Manuel Sut León, se conceptúa que el documento presentado, reúne todas las condiciones de calidad en materia administrativa y académica (rigor, pertinencia, secuencia y coherencia metodológica), por lo tanto, se procede a la autorización del mismo, para que el(la) estudiante pueda optar al título de Ingeniería Química.

*“Id y Enseñad a Todos”*


Ing. Williams E. Avarez, M.Sc., M.U.I.E.

DIRECTOR

Escuela de Ingeniería Química

Cc. Archivo  
WGAM/wgam



Agencia Centroamericana de Acreditación de  
Programas de Arquitectura e Ingeniería



Formando Ingenieros Químicos en Guatemala desde 1939

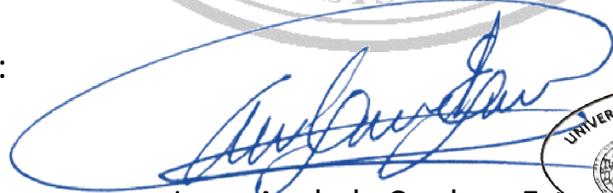


NO SALGAS  
QUÉDATE EN  
CASA

DTG. 500-2021

La Decana 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: **EVALUACION DEL RENDIMIENTO DE LA FRACCIÓN EXTRACTABLE DEL CAFÉ VERDE ORO (*Coffea arábica L.*) PROVENIENTE DE LOS DEPARTAMENTOS DE SACATEPÉQUEZ Y QUICHÉ, SU CARACTERIZACIÓN FISICOQUÍMICA Y COMPOSICIÓN QUÍMICA A ESCALA LABORATORIO**, presentado por el estudiante universitario: **Luis Manuel Sut León**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Inga. Anabela Cordova Estrada  
Decana

Guatemala, octubre de 2021

AACE/asga

## **ACTO QUE DEDICO A:**

- Dios** Por darme tantas bendiciones, mi familia, mis familiares, compañeros y todas las personas de buena voluntad que he conocido en mi vida, por ser mi guía, mi protección, mi consuelo y apoyo en el camino de mi vida.
- Mis padres** Porque son lo que más quiero en mi vida, por su amor y apoyo incondicional para lograr todas mis metas, sus enseñanzas y darme tantos privilegios y felicidad a lo largo de mi vida.
- Mi padre** Tomás Sut Macario, por ser mi modelo de paciencia, esfuerzo, perseverancia, apoyo, bondad y enseñarme a enfrentar las dificultades de la vida.
- Mi madre** Anastasia León Ignacio, por su apoyo, por haberme dirigido en mi vida enseñándome lo bueno de lo malo.
- Mis hermanos** Por ser mis ángeles de quienes he recibido tanto amor y apoyo, soy afortunado de tenerlos.

**Mi hermana**

Cristina Sut León, por ser mí apoyo, consejera y por querer siempre lo mejor para mí.

**Mi hermano**

Dámaso Sut León, mi mejor amigo, quien me ha enseñado a ser una mejor persona, sin su apoyo mi vida no sería la misma.

**Mi hermano**

Pedro Sut León, por su ayuda y cariño incondicional, y de quien he aprendido tanto.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>Universidad de San Carlos de Guatemala</b>	Por haberme brindado la oportunidad de ser ingeniero.
<b>Facultad de Ingeniería</b>	Por abrirme sus puertas al conocimiento de la ciencia.
<b>Mi asesor</b>	Ing. Mario Mérida por su apoyo incondicional en mi trabajo de graduación y en mi carrera profesional brindándome su amistad y sus conocimientos sin limitaciones.
<b>Mi asesora</b>	Inga. Telma Cano por su colaboración, amistad y apoyo en este proyecto.
<b>Laboratorio LIEXVE</b>	Por permitirme realizar mi trabajo de graduación en sus instalaciones y utilizar su equipo.
<b>Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia</b>	Por haberme permitido realizar la fase experimental en sus instalaciones.
<b>Universidad del Valle de Guatemala</b>	Por el apoyo en mi trabajo de graduación.

**Mis amigos  
universitarios**

Con quienes compartimos momentos inolvidables Luis Cruz, Elder Villatoro, Johana Rosales, Jackeline Arrecis, Ángel Baquix.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS .....	IX
GLOSARIO.....	XI
RESUMEN .....	XIII
OBJETIVOS.....	XV
INTRODUCCIÓN.....	XIX
1. ANTECEDENTES .....	1
2. MARCO TEÓRICO.....	5
2.1. Compuestos fenólicos .....	5
2.1.1. Características químicas generales.....	5
2.1.2. Clasificación general.....	8
2.1.1.1. No flavonoides .....	8
2.1.1.2. Flavonoides .....	8
2.1.3. Papel en la prevención de enfermedades .....	8
2.1.1.3. En la prevención del cáncer.....	11
2.1.1.4. Biodisponibilidad.....	12
2.1.1.5. Toxicidad .....	13
2.2. Melanoidinas .....	14
2.3. Aceite fijo.....	14
2.4. El café.....	15
2.5. Composición de un grano de café .....	16
2.5.1. Origen del café en Guatemala .....	17

2.5.2.	Origen del café en Guatemala según criterios .....	18
2.5.3.	Tipos de café.....	19
2.5.4.	Usos del café.....	20
2.1.1.6.	La infusión.....	20
2.1.1.7.	El café como fertilizante .....	21
2.5.5.	Clasificación de contenidos en el café .....	21
2.1.1.8.	Carbohidratos.....	21
2.1.1.9.	Componentes nitrogenados .....	22
2.1.1.10.	Ácidos clorogénicos .....	22
2.1.1.11.	Ácidos carboxílicos.....	22
2.1.1.12.	Componentes volátiles .....	23
2.6.	Lípidos.....	23
2.6.1.	Lípidos relacionados con ácidos grasos.....	24
2.6.2.	Lípidos no relacionados con ácidos grasos.....	25
2.7.	Tueste del café.....	26
2.7.1.	Cambios que ocurren en el proceso de tostado .....	28
2.8.	El café verde .....	29
2.8.1.	El café verde y la salud .....	31
2.8.2.	El extracto de café verde.....	33
2.1.1.13.	Polifenoles.....	33
2.1.1.14.	Ácido clorogénico .....	34
2.1.1.15.	Reacciones adversas y toxicológicas.....	35
2.9.	Los lípidos .....	36
2.9.1.	Ácidos grasos.....	36
2.9.2.	Ácidos grasos comunes .....	37
2.10.	Calidad de los aceites .....	37
2.10.1.	Procesos de extracción de aceite.....	38
2.1.1.16.	Por expresión .....	38

	2.1.1.17.	Por solubilidad en solventes no polares.....	38
	2.1.1.18.	Sistema combinado .....	39
2.11.		Métodos de extracción.....	39
	2.11.1.	Lixiviación .....	39
	2.11.2.	Proceso de lixiviación .....	40
	2.11.3.	Método Soxhlet.....	40
	2.11.4.	Cromatografía.....	42
	2.11.5.	Clasificación de los métodos de separación .....	42
	2.1.1.19.	Cromatografía gaseosa .....	43
	2.1.1.20.	Cromatografía gas-liquido (GLC).....	43
	2.1.1.21.	Cromatografía gaseosa (GC-MS) .....	44
3.		MARCO METODOLÓGICO .....	47
	3.1.	Localización.....	47
	3.2.	Variables.....	48
	3.2.1.	Variables dependientes .....	48
	3.2.2.	Variables independientes .....	49
	3.2.3.	Variable de respuesta.....	49
	3.3.	Delimitación del campo de estudio .....	50
	3.3.1.	Obtención de la materia prima.....	50
	3.4.	Obtención de la fracción extractable de aceite fijo .....	50
	3.5.	Análisis fisicoquímico del aceite fijo.....	51
	3.6.	Análisis cuantitativo del aceite fijo .....	51
	3.7.	Recursos humanos disponibles.....	51
	3.8.	Recursos materiales disponibles .....	52
	3.8.1.	Materia prima.....	52
	3.8.2.	Reactivos .....	53
	3.8.3.	Materiales auxiliares .....	53

3.8.4.	Material de laboratorio.....	54
3.8.5.	Equipo .....	55
3.9.	Recursos adicionales .....	58
3.10.	Técnica cualitativa o cuantitativa.....	59
3.10.1.	Extracción del aceite fijo a escala laboratorio.....	60
3.10.2.	Rendimiento del aceite fijo a escala laboratorio .....	60
3.10.3.	Densidad del aceite fijo a escala laboratorio .....	61
3.10.4.	Toma del índice de refracción a escala laboratorio .	62
3.10.5.	Medición de GC-MS a escala laboratorio .....	62
3.10.6.	Solubilidad en hexano a escala laboratorio .....	62
3.10.7.	Contenido de cafeína a escala laboratorio .....	63
3.11	Recolección y ordenamiento de la información .....	63
3.12	Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información	72
3.13	Análisis estadístico.....	77
4.	RESULTADOS.....	85
5.	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS .....	95
	CONCLUSIONES.....	101
	RECOMENDACIONES .....	103
	BIBLIOGRAFÍA .....	105
	APÉNDICES.....	111
	ANEXOS.....	113

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Estructuras de compuestos fenólicos.....	7
2.	Partes del fruto de café .....	16
3.	Fruto de café .....	17
4.	Café tostado en grano y molido .....	19
5.	Bebida de café .....	20
6.	Granos de café verde.....	33
7.	Diagrama de extractor Soxhlet.....	41
8.	Granos de café verde sin tueste .....	52
9.	Campana de extracción .....	56
10.	Plancha de calentamiento .....	57
11.	Extractor Soxhlet.....	57
12.	Rotaevaporador .....	58
13.	Balanza analítica .....	59
14.	Rendimiento de aceite fijo vs. Procedencia escala laboratorio .....	85
15.	Densidad de aceite fijo vs. Procedencia escala laboratorio .....	86
16.	Índice de refracción a 24 °C vs. Procedencia a escala laboratorio.....	87
17.	Solubilidad en hexano a 21 °C vs. Procedencia escala laboratorio.....	88
18.	Cafeína en el aceite fijo vs. Procedencia escala laboratorio .....	90

## TABLAS

I.	Propiedades organolépticas de compuestos fenólicos .....	7
II.	Efectos saludables de los compuestos fenólicos .....	11
III.	Fenoles efectos y actividades biológicas .....	12
IV.	Variables dependientes en el aceite fijo.....	48
V.	Variables independientes en el aceite fijo.....	49
VI.	Clasificación del café verde ( <i>Coffea arábica L.</i> ).....	50
VII.	Materia vegetal utilizada .....	52
VIII.	Solvente utilizado en la extracción de aceite fijo.....	53
IX.	Accesorios .....	54
X.	Implementos de laboratorio utilizados.....	55
XI.	Equipo utilizado en la investigación .....	56
XII.	Otros recursos utilizados .....	58
XIII.	Instrumentos volumétricos de medición.....	59
XIV.	Datos de rendimiento región Quiché, Guatemala, C.A. ....	64
XV.	Datos de rendimiento región Sacatepéquez, Guatemala, C.A.....	65
XVI.	Datos de densidad a 21 °C región Quiché, Guatemala, C.A.....	66
XVII.	Datos de densidad a 21 °C región Sacatepéquez, Guatemala, C.A. ...	67
XVIII.	Datos para índice de refracción a 24 °C escala laboratorio .....	68
XIX.	Datos de solubilidad en hexano a 21 °C escala laboratorio .....	68
XX.	Datos de contenido de cafeína de aceite fijo a escala laboratorio .....	69
XXI.	Datos de composición química región Quiché, Guatemala, C.A. ....	70
XXII.	Datos de composición química región Sacatepéquez, Guatemala, C.A. ....	71
XXIII.	Deducción de rendimiento región Quiché, Guatemala, C.A.....	72
XXIV.	Deducción de rendimiento región Sacatepéquez Guatemala, C.A. ....	73
XXV.	Deducción densidad a 21 °C región Sacatepéquez, Guatemala, C.A.	74
XXVI.	Deducción de densidad a 21 °C región Quiché, Guatemala, C.A. ....	75

XXVII.	Deducción índice de refracción a 24 °C escala laboratorio .....	76
XXVIII.	Deducción de solubilidad a 21 °C escala laboratorio .....	76
XXIX.	Datos ANOVA de rendimiento de aceite fijo escala laboratorio .....	78
XXX.	Resultado ANOVA de rendimiento de aceite fijo escala laboratorio.....	79
XXXI.	Datos ANOVA de densidad a 21 °C escala laboratorio .....	79
XXXII.	Resultado ANOVA de densidad a 21 °C escala laboratorio .....	80
XXXIII.	Datos ANOVA índice de refracción 24 °C escala laboratorio .....	80
XXXIV.	Resultado ANOVA índice de refracción a 24 °C escala laboratorio .....	81
XXXV.	Datos ANOVA de solubilidad en hexano a 21 °C escala laboratorio....	81
XXXVI.	Resultado ANOVA solubilidad en hexano a 21 °C escala laboratorio ..	82
XXXVII.	Datos prueba de TUKEY densidad a 21 °C escala laboratorio .....	82
XXXVIII.	Diferencia de promedios de densidades 21 °C escala laboratorio .....	83
XXXIX.	Resultado prueba de TUKEY de densidad a 21 °C escala laboratorio.	83
XL.	Rendimientos de aceite fijo a escala laboratorio .....	85
XLI.	Densidad a 21 °C de aceite fijo a escala laboratorio .....	86
XLII.	Índice de refracción a 24 °C de aceite fijo a escala laboratorio .....	87
XLIII.	Solubilidad en hexano a 21 °C de aceite fijo a escala laboratorio .....	88
XLIV.	Solubilidad a 21 °C de aceite fijo en distintos solventes.....	89
XLV.	Contenido de cafeína en el aceite fijo a escala laboratorio .....	89
XLVI.	Composición química región Quiché, Guatemala C.A. ....	91
XLVII.	Composición química región Sacatepéquez, Guatemala, C.A.....	92
XLVIII.	Cuadro comparativo en las composiciones químicas de aceites fijos ..	93



## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>GC-MS</b>	Cromatografía de gases con acoplamiento a espectrometría de masas
<b>F</b>	Factor de Fisher
<b>°F</b>	Grados Fahrenheit
<b>°C</b>	Grados Celsius
<b>g</b>	gramos
<b>m</b>	metros
<b>mL</b>	Mililitros
<b>nm</b>	nanómetros
<b>ppm</b>	Partes por millón
<b>p/p</b>	peso/peso
<b>%</b>	Porcentaje



## GLOSARIO

<b>Aceite fijo</b>	Aceite que no se evapora y cuya composición es la de las sustancias grasas.
<b>Ácido graso</b>	Biomolécula de naturaleza lipídica formada por una larga cadena hidrocarbonada lineal en cuyo extremo hay un grupo carboxilo.
<b>ANOVA</b>	Análisis de varianza, es un método estadístico.
<b>Café verde</b>	Granos de café secos sin ser tostados.
<b>Cafeína</b>	Alcaloide del grupo de las xantinas, sólido cristalino, blanco y de sabor amargo.
<b><i>Coffea arábica</i></b>	Nombre científico que se le da al cafeto arábigo.
<b>Cromatograma</b>	Gráfica que consiste en conjunto de picos y líneas base, en función del tiempo, obteniendo como resultado todos los componentes detectados en la mezcla.
<b>Densidad</b>	Relación entre la masa y el volumen de una sustancia.
<b>Hexano</b>	Compuesto hidrocarburo alifático alcano con seis átomos de carbono.

<b>Índice de refracción</b>	Valor numérico que expresa la relación entre los senos de los ángulos de incidencia y refracción.
<b>Prueba de Tukey</b>	Método utilizado en ANOVA para crear intervalos de confianza para todas las diferencias en parejas entre las medias.
<b>Rendimiento</b>	Relación entre el peso de la materia vegetal y el peso del aceite fijo obtenido, expresándolo en porcentaje.
<b>Solubilidad</b>	Capacidad de una sustancia de disolverse en otra llamada disolvente.
<b>Soxhlet</b>	Equipo de laboratorio de vidrio utilizado para la extracción de compuestos, generalmente de naturaleza lipídica, contenidos en un sólido, a través de un disolvente afín.

## RESUMEN

En este trabajo de tesis se evaluó el rendimiento de extracción de los aceites fijos de los granos de café sin tueste conocidos como café verde (*Coffea arabica L.*) de los departamentos de Quiché y Sacatepéquez, Guatemala C.A. Así también, se caracterizaron fisicoquímicamente los extractos y se analizó su composición por cromatografía gaseosa GC – MS.

El rendimiento de extracción del aceite fijo de los granos de café verde (*Coffea arabica L.*) de la región de Quiché fue de  $6,9501 \pm 0,6408$  % y para la región de Sacatepéquez fue de  $6,1892 \pm 0,6659$  %. Según el análisis estadístico por ANOVA no presentaron diferencias significativas. Estas extracciones se realizaron por el método Soxhlet.

Respecto a las propiedades fisicoquímicas, se determinó según el análisis estadístico ANOVA, que existe diferencia significativa entre las densidades de los aceites fijos de los granos de café verde de Sacatepéquez y Quiché siendo estos  $0,9178 \pm 0,02241$  g/mL,  $0,8923 \pm 0,01556$  g/mL respectivamente; pero que no existe diferencia significativa entre el índice de refracción de los aceites de las dos localidades, así como también entre la solubilidad de estos aceites fijos en el solvente hexano.

De acuerdo con la composición de ácidos grasos obtenida en el estudio por cromatografía de gases GC – MS de los aceites fijos de ambas regiones se determinó que los componentes principalmente son los ácidos Alfa-linoleico, Palmítico, Esteárico, Oleico y Araquídico. Sin embargo, los ácidos grasos presentes en mayor cantidad fueron el ácido Alfa-linoleico y Palmítico.



## OBJETIVOS

### General

Evaluar el rendimiento extractivo utilizando la técnica de extracción Soxhlet de la semilla del café verde oro (*Coffea arabica L.*) proveniente de los departamentos de Sacatepéquez y Quiché, su caracterización fisicoquímica y composición química a escala laboratorio.

### Específicos

1. Evaluar el rendimiento de la fracción extractable de la semilla del café verde (*Coffea arabica L.*) en función del lugar de procedencia: Sacatepéquez y Quiché.
2. Realizar la caracterización fisicoquímica a los extractos de café verde (*Coffea arabica L.*) determinando la densidad, índice de refracción y solubilidad en función de su lugar de procedencia.
3. Determinar la composición química de los extractos obtenidos de las semillas de café verde (*Coffea arabica L.*) según su procedencia, por medio de Cromatografía de Gases Acoplada a Espectrometría de Masas GC - MS.
4. Determinar el contenido de cafeína en el aceite fijo de café verde (*Coffea arabica L.*) proveniente de cada región.



# HIPÓTESIS

## Hipótesis nula

**Ho<sub>1</sub>:** No existe diferencia significativa en el porcentaje de rendimiento de la extracción del aceite fijo de café verde (*Coffea arabica L.*) en función de su lugar de origen a escala laboratorio.

**Ho<sub>2</sub>:** No existe diferencia significativa entre las densidades de los aceites fijos de café verde (*Coffea arabica L.*) en función de su lugar de origen a escala laboratorio.

**Ho<sub>3</sub>:** No existe diferencia significativa entre los índices de refracción de los aceites fijos de café verde (*Coffea arabica L.*) en función de su lugar de origen a escala laboratorio.

**Ho<sub>4</sub>:** No existe diferencia significativa entre la solubilidad de los aceites fijos de café verde (*Coffea arabica L.*) en función de su lugar de origen en el solvente hexano a escala laboratorio.

## Hipótesis alternativa

**Hi<sub>1</sub>:** Existe diferencia significativa en el porcentaje de rendimiento de la extracción del aceite fijo de café verde (*Coffea arabica L.*) en función de su lugar de origen a escala laboratorio.

**Hi<sub>2</sub>:** Existe diferencia significativa entre las densidades de los aceites fijos de café verde (*Coffea arabica L.*) en función de su lugar de origen a escala laboratorio.

**Hi<sub>3</sub>:** Existe diferencia significativa entre los índices de refracción de los aceites fijos de café verde (*Coffea arabica L.*) en función de su lugar de origen a escala laboratorio.

**Hi<sub>4</sub>:** Existe diferencia significativa entre la solubilidad de los aceites fijos de café verde (*Coffea arabica L.*) en función de su lugar de origen en el solvente hexano a escala laboratorio.

## INTRODUCCIÓN

El café es una bebida que se obtiene a partir de la extracción de soluble en agua caliente de granos tostados (infusión) de la planta de café. Se le considera como una de las bebidas más consumidas en el mundo. Su popularidad se debe a su efecto vigorizante, tonificante y estimulante. El café está compuesto por más de 1 000 sustancias químicas distintas incluyendo aminoácidos y otros compuestos nitrogenados, polisacáridos, azúcares, triglicéridos, ácido linoleico, diterpenos (cafestol y kahweol), ácidos volátiles (fórmico y acético) y no volátiles (láctico, tartárico, pirúvico, cítrico), compuestos fenólicos (ácido clorogénico), cafeína, sustancias volátiles (sobre 800 identificadas de las cuales 60-80 contribuyen al aroma del café), vitaminas, minerales.<sup>1</sup>

Otros constituyentes, como las melanoidinas derivan de las reacciones de pardeamiento no enzimático o de la caramelización de carbohidratos que ocurren durante el tostado. Existen variaciones importantes en la concentración de estos componentes según la variedad de café y el grado de tostado. Algunos de los componentes anteriores se ven disminuidos durante el tueste debido a que, por acción del calor, sufren reacciones pirolíticas de carácter exotérmico dentro de la célula. Por eso, en esta investigación se estudiaron algunas propiedades fisicoquímicas, como la densidad, el índice de refracción, el contenido de cafeína y la solubilidad, así como el perfil de ácidos grasos del café verde (*Coffea arábica* L.) que es equivalente a decir el café grano oro sin tueste.

---

<sup>1</sup> PÉREZ, Martha et al. *El café en la nutrición humana*. <http://uvsfajardo.sld.cu/el-cafe-en-la-nutricion-humana>. Consulta: 02 de agosto 2018.

Aunque de momento se caracteriza por no ser tan conocido y popular como su versión tostada, el café verde puede ser una fuente mayor de antioxidantes y ácidos grasos esenciales.

Se ha descrito el uso de mezclas de ácido cafeico con ácidos clorogénicos como alternativa al uso de antioxidantes sintéticos para eliminar radicales libres los cuales provocan el envejecimiento. Mediante el uso de distintas técnicas de determinación de la actividad antioxidante total, el café aparece como el mayor contribuyente a la ingesta total diaria de antioxidantes en adultos noruegos y la mayor fuente de antioxidantes en bebidas de la dieta española e italiana.<sup>2</sup>

---

<sup>2</sup> GOTTELAND, Martín et al. Algunas verdades sobre el café.  
[https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0717-75182007000200002](https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-75182007000200002). Consulta: 02 de agosto 2018.

## 1. ANTECEDENTES

Existen pocos estudios de las extracciones lipídicas con café verde (*Coffea arábica L.*) porque se ha privilegiado su versión tostada para proporcionar un producto de alta calidad. Sin embargo, los antecedentes más relevantes para este estudio en calidad de información son los descritos a continuación.

En la Universidad de Chile en el Instituto de Nutrición y Tecnología de los alimentos en el año 2007 se publicó la investigación de Gotteland, M. y de Pablo, S., acerca de las propiedades químicas del café y su efecto en la salud de los seres humanos titulado *Algunas verdades sobre el café*. En este estudio se determinó que el café posee gran cantidad de cafeína y antioxidantes los cuales se producen durante la reacción de Millard.

En el año 2012 en la universidad de Sonora México por medio de la revista de ciencias biológicas y de la salud los investigadores Pérez Hernández L., Quiroz Chávez K., Medina Juárez L. y Gámez Meza N. Publican el estudio *Compuestos Fenólicos, Melanoidinas y Actividad Antioxidante de Café Verde y Procesado de Las Especies Coffea arábica y Coffea canephora*; donde determinan los compuestos fenólicos, melanoidinas y actividad antioxidante de cada uno. Se identificó que los cafés procesados contienen mayor actividad antioxidante que sus respectivos granos de origen.

En la revista Plenilunia, Ruth Pedroza Islas publicó el artículo *El café te ayuda a mantener un peso saludable* en el que se expone el análisis de antioxidantes, como el ácido clorogénico y cafeico presentes en el café verde como fuentes que ayudan a la disminución de absorción de glucosa en el intestino

delgado y por ende a la reducción de peso. En este estudio se determinó que una dosificación de café con alto contenido de ácido clorogénico y cafeico contribuyó en la reducción de peso de los sujetos en estudio.

Se publicó en 1996 la investigación de Gloria Inés Puerta Quintero titulada *Escalas para la evaluación de la Calidad de la bebida de café verde Coffea arábica procesado por vía húmeda*. Las categorías 9, 8 y 7 describen las cualidades deseables en todos los atributos, o tazas de calidad superior, siendo 9 la mejor calificación propia de una bebida de características equilibradas específicas y naturales al café. Las desviaciones en la calidad se califican en el rango medio 6, 5, 4 y son tazas de cualidades tolerables. Los defectos se califican de 3 a 1, donde tazas con características de total rechazo como contaminado, stinker y fenol se califican como 1.

Mónica Pérez Ochoa de la Universidad Veracruzana, en su tesis titulada *Compuestos fenólicos y perfil de ácidos grasos en granos de café (Coffea arábica L.) verde y tostado de variedades e híbridos cultivados en Coatepec, Veracruz*. En el año 2016 presenta un estudio del café verde para investigar las características biofísicas, parámetros fisicoquímicos, compuestos fenólicos, actividad antioxidante y perfil de ácidos grasos en granos de café verde y tostado. El estudio de ácidos reveló que los compuestos mayoritarios fueron el ácido palmítico, linoleico, oleico, esteárico, araquídico y linolénico.

En la Universidad de San Carlos de Guatemala, la investigadora Lourdes Ramírez Ovalle, como trabajo de tesis en el año 2008 estudió el rendimiento del aceite de café tostado oscuro, claro y verde. También evaluó las propiedades fisicoquímicas y de calidad del aceite fijo de los granos de café, como la densidad y el rendimiento de extracción. En el resultado del perfil de ácidos grasos, se

determinó que hubo una concentración alta de ácido palmítico, seguido por el ácido esteárico, araquídico y con menos valor el ácido oleico.



## **2. MARCO TEÓRICO**

### **2.1. Compuestos fenólicos**

Los compuestos fenólicos están ligados a propiedades curativas ya que son los componentes principales de los alimentos de origen vegetal como frutas, verduras, semillas, entre otros.

#### **2.1.1. Características químicas generales**

Lo más destacable de los compuestos fenólicos son sus propiedades antioxidantes. Por un lado, son muy susceptibles a ser oxidados y por otro, impiden que los metales catalicen las reacciones de oxidación. Así, los grupos hidroxilo, al estar unidos a un anillo bencénico, presentan la posibilidad de que el doblete del átomo de oxígeno interactúe con los electrones del anillo, lo que le confiere unas características especiales respecto al resto de alcoholes. Por otro lado, pueden actuar de quelantes (sobre todo los fenoles no flavonoides) y formar complejos con metales di o trivalentes, especialmente, con el hierro y el aluminio, lo que puede tener también implicaciones nutricionales. Por sus características organolépticas, los taninos se conocen porque dan la sensación de astringencia (por ejemplo, el vino), ya que son capaces de unirse a las proteínas lubricantes de la saliva por puentes de hidrógeno.

La expresión compuestos fenólicos incluye sustancias que poseen varias funciones fenol, nombres populares del hidroxibenceno, unidos a estructuras aromáticas o alifáticas. Únicamente, algunos compuestos fenólicos de la familia de los ácidos fenoles no son polifenoles, sino monofenoles.

Los compuestos fenólicos tienen su origen en el mundo vegetal. Están entre los principales metabolitos secundarios de las plantas y su presencia en el reino animal se debe a la ingestión de éstas. Los fenoles son sintetizados de nuevo por las plantas y son regulados genéticamente cualitativa y cuantitativamente, aunque a este nivel también existen factores ambientales. Además, actúan como fitoalexinas (las plantas heridas secretan fenoles para defenderse de posibles ataques fúngicos o bacterianos) y contribuyen a la pigmentación de muchas partes de la planta (por ejemplo, los antocianos son los responsables del color rojo, naranja, azul, púrpura o violeta que se encuentran en las pieles de las frutas y hortalizas). Por otro lado, cuando los fenoles son oxidados, dan lugar a las quinonas que dan un color pardo que muchas veces es indeseable.

Los fenoles se encuentran casi en todos los alimentos de origen vegetal (tabla I). Son alimentos ricos en fenoles la cebolla, el té, el vino tinto, el cacao, el aceite de oliva virgen, entre otros. Estas sustancias influyen en la calidad, aceptabilidad y estabilidad de los alimentos, ya que actúan como colorantes, antioxidantes y proporcionan sabor. Así, por ejemplo, las aceitunas contienen compuestos fenólicos que pasan en pequeña proporción al aceite durante el período de extracción. El aceite de oliva virgen es casi el único aceite que contiene cantidades notables de sustancias fenólicas naturales, ya que el resto de los aceites comestibles al consumirse refinados pierden estos compuestos. Por este motivo, el aceite de oliva virgen posee un sabor característico imperceptible en el aceite refinado.<sup>3</sup>

---

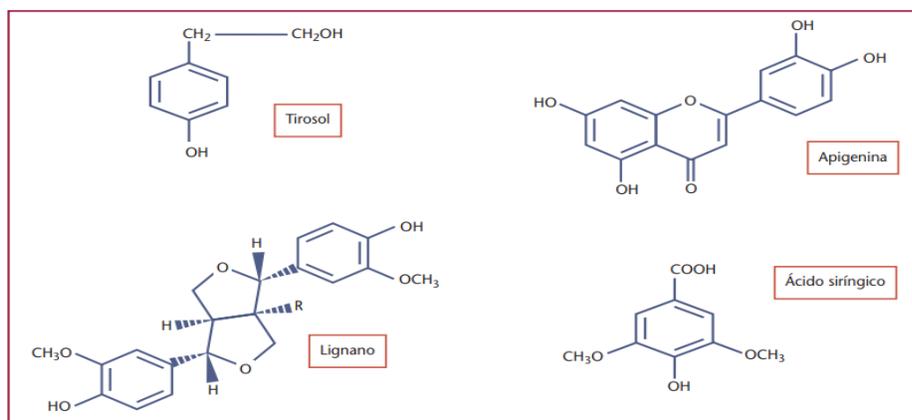
<sup>3</sup> GOTTELAND, Martín et al. *Algunas verdades sobre el café*. [https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0717-75182007000200002](https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-75182007000200002). Consulta: 02 de agosto 2018.

Tabla I. **Propiedades organolépticas de compuestos fenólicos**

<b>Color</b>
Como las antocianidinas, responsables de los tonos rojos, azules y violáceos de muchas frutas, hortalizas y derivados: fresas, ciruelas, uvas, berenjena, col lombarda, rábano, vino tinto, entre otros.
<b>Sabor amargo</b>
Como las flavanonas de los cítricos (naringina del pomelo, neohesperidina de la naranja) o la oleuropeína en las aceitunas
<b>Astringencia</b>
Como las proantocianidinas (taninos condensados) y los taninos hidrolizables, por ejemplo, en el vino
<b>Aroma</b>
Fenoles simples como el eugenol en los plátanos

Fuente: GIMENO, Eva. *Compuestos fenólicos*. <http://www.elsevier.es/es-revista-offarm-4-pdf-13063508>. Consulta: 02 de agosto 2018.

Figura 1. **Estructuras de compuestos fenólicos**



Fuente: GIMENO, Eva. *Compuestos fenólicos*. <http://www.elsevier.es/es-revista-offarm-4-pdf-13063508>. Consulta: 02 de agosto 2018.

## **2.1.2. Clasificación general**

Los polifenoles se pueden clasificar de muchas maneras debido a su diversidad estructural (fig. 1). Según su estructura química existen 2 grandes grupos.

### **2.1.1.1. No flavonoides**

Entre ellos hay dos subgrupos:

- Fenoles no carboxílicos: C6, C6-C1, C6-C3.
- Ácidos fenoles: derivados del ácido benzoico C6-C1 y derivados del ácido cinámico C6-C3.

### **2.1.1.2. Flavonoides**

Formados por 2 grupos bencénicos unidos por un puente tricarbonado.  
Subgrupos:

- Antocianos
- Flaconas, flavononas, flavanoles y flavanonoles
- Flavanoles, taninos condensados y lignanos

## **2.1.3. Papel en la prevención de enfermedades**

Los compuestos fenólicos en los distintos alimentos constituyen una fracción muy compleja formada por un número muy grande de compuestos, algunos todavía no identificados. La concentración en polifenoles de cualquier alimento también es muy variable, porque depende de muchos factores, como la

variedad o el grado de maduración del vegetal. También su biodisponibilidad es variable: muchos de ellos son metabolizados por microorganismos del colon antes de ser absorbidos. Además, los procesos tecnológicos y los hábitos culinarios del consumidor pueden reducir en gran parte los fenoles del alimento.

Los nutricionistas de animales consideran a los polifenoles como antinutrientes por el efecto adverso de los taninos sobre la digestibilidad de las proteínas. Esto provoca que el ganado crezca menos y las aves de corral pongan menos huevos. Sin embargo, dada su capacidad antioxidante, tanto como captadores de radicales libres como quelantes de metales, el interés ha aumentado.

Estas propiedades antioxidantes inciden en la salud humana, como en la prevención del cáncer, de las enfermedades cardiovasculares o de enfermedades neurodegenerativas como el Alzheimer. También existen sustancias con actividad estrogénica (fitoestrógenos) como las isoflavonas, los lignanos y el estilbeno resveratrol, y otras con propiedades antimicrobianas.

De todos los compuestos fenólicos, el grupo de los flavonoides es el más extendido en la naturaleza y dentro de ellos, los flavonoles son los que poseen una mayor actividad antioxidante.

Estudios epidemiológicos han demostrado que una ingestión rica en flavonoides se relaciona con un menor riesgo de enfermedad cardiovascular y se ha observado que actúan a diferentes niveles (tabla 2). Por un lado, disminuyen las tasas de colesterol y de LDL oxidada debido a sus propiedades antioxidantes como fuertes quelantes de metales y como donadores de hidrógeno (a través de los grupos hidroxilo).

Así, en general, el grado de actividad antioxidante se correlaciona con el número de grupos hidroxilo. Por ello, los ortodifenoles son buenos antioxidantes, mientras que compuestos monofenol, como el tirosol, no lo son tanto. También algunos, como el hidroxitirosol o la oleuropeína, tienen la capacidad de ser captadores de radicales libres. Por otro lado, pueden inhibir la ciclooxigenasa y la lipooxigenasa, lo que se traduce en una disminución en la formación de tromboxano y leucotrienos. Con todo ello, los fenoles pueden controlar, en parte, la reacción inflamatoria de la placa de ateroma. Además, algunos fenoles, como el hidroxitirosol, también inhiben la agregación plaquetaria y estabilizan las fibras de colágeno de la pared arterial.

Por último, cabe destacar que 2 subclases de compuestos fenólicos, las isoflavonas y los lignanos, tienen una estructura muy similar a los estrógenos, por lo que se engloban dentro del grupo de los fitoestrógenos.

Estos compuestos son metabolizados por las bacterias intestinales y dan lugar a sustancias, como la enterolactona, que tienen la propiedad de unirse a los receptores estrogénicos y mimetizar su acción. Así, se ha observado que los fitoestrógenos pueden disminuir el riesgo de enfermedad cardiovascular y algunos cánceres por vías hormonadependientes.<sup>4</sup>

---

<sup>4</sup> Elsevier. *Compuestos fenólicos*. <https://www.elsevier.es/es-revista-offarm-4-articulo-compuestos-fenolicos-un-analisis-sus-13063508>. Consulta: 02 de agosto 2018.

Tabla II. **Efectos saludables de los compuestos fenólicos**

<b>Efectos beneficiosos</b>
Disminución de la oxidación de las lipoproteínas de baja densidad (LDL)
Disminución del proceso inflamatorio en la placa de ateroma
Inhibición de la agregación plaquetaria
Estimulación de la síntesis de óxido nítrico
Estabilización de las fibras de colágeno de la pared arteria
Actuación como fitoestrógenos (isoflavonas y lignanos)

Fuente: GIMENO, Eva. *Compuestos fenólicos*. <http://www.elsevier.es/es-revista-offarm-4-pdf-13063508>. Consulta: 02 de agosto 2018.

### **2.1.1.3. En la prevención del cáncer**

No están definitivamente establecidos los mecanismos a través de los que los compuestos fenólicos pueden prevenir el cáncer. Estudios de laboratorio en animales de experimentación han puesto de manifiesto efectos y actividades biológicas muy variadas, que se resumen en la tabla 3.

Sin embargo, en estos estudios es muy difícil discernir si el efecto es debido a un compuesto en concreto o si, lo más probable, es debido a un efecto sinérgico de distintos fitoquímicos presentes en estos alimentos como son, además de los polifenoles, las vitaminas C y E, los carotenos, el ácido fólico, la fibra, entre otros.

Tabla III. **Fenoles efectos y actividades biológicas**

<b>Actividad estrogénica/antiestrogénica</b>
Inhibición de la proliferación celular: inhibición del ciclo celular o inducción de apoptosis en células tumorales
Inhibición del daño oxidativo del ADN
Activación de las enzimas de detoxificación de carcinógenos

Fuente: GIMENO, Eva. *Compuestos fenólicos*. <http://www.elsevier.es/es-revista-offarm-4-pdf-13063508>. Consulta: 02 de agosto 2018.

#### **2.1.1.4. Biodisponibilidad**

A pesar de haberse demostrado estos efectos en muchos estudios, en otros no se han obtenido resultados significativos. Estas discrepancias pueden ser debidas, entre otros factores, a deficiencias en los métodos de evaluación de la ingestión de compuestos fenólicos. También la matriz del alimento y otros constituyentes de la dieta que acompañan a los polifenoles pueden tener un efecto relevante sobre su biodisponibilidad y metabolismo.

La verdad es que se conoce poco sobre la absorción, biodisponibilidad y metabolismo de los compuestos fenólicos y es probable que cada grupo tenga una cinética diferente. Su estructura química determina la velocidad de absorción, la naturaleza de los metabolitos circulantes y su eliminación. Por ejemplo<sup>5</sup>, a pesar de no encontrar flavonoides o conjugados de estos en plasma, se encontró un incremento en la capacidad antioxidante plasmática en ratas alimentadas con vino tinto desalcoholizado. Estos resultados demostrarían que

---

<sup>5</sup> BENITO, S. *Los Flavonoides en la protección vascular a través de la dieta en ratas: actividad antioxidante y vasorrelajante*. <https://www.elsevier.es/es-revista-offarm-4-articulo-compuestos-fenolicos-un-analisis-sus-13063508>. Consulta: 02 de agosto 2018.

los derivados de los flavonoides circulantes en el plasma mantendrían su actividad antioxidante.

Se ha sugerido que los compuestos fenólicos se localizan en la superficie de la bicapa lipídica y neutralizan los radicales libres presentes en el medio acuoso retrasan el consumo de antioxidantes endógenos como la vitamina E.

#### **2.1.1.5. Toxicidad**

A pesar de todo esto, los fenoles pueden tener efectos antinutricionales debido a que pueden interaccionar con algunos elementos de la dieta. Por ejemplo, una ingestión muy elevada y crónica de estos compuestos puede interferir en la absorción del hierro de la dieta y provocar anemia. Sin embargo, en general, la toxicidad de los fenoles en una ingestión moderada es muy poca debido a su baja absorción, rápido metabolismo y a la presencia de un sistema muy eficaz de detoxificación.

El problema es que la mayoría de los estudios están hechos in vitro o en animales de experimentación, lo que limita la extrapolación de resultados en el hombre. Se ha visto que los polifenoles pueden ser tóxicos si su ingestión está entre el 1 y el 5 % del total de la dieta, cosa imposible en condiciones normales, ya que lo habitual es ingerir, aproximadamente, entre 25 mg-1 g/día. Aun así, conviene ser prudentes y no recomendar un consumo muy elevado de compuestos fenólicos hasta que su bioactividad no esté mejor entendida.<sup>6</sup>

---

<sup>6</sup> Elsevier. *Compuestos fenólicos*. <https://www.elsevier.es/es-revista-offarm-4-articulo-compuestos-fenolicos-un-analisis-sus-13063508>. Consulta: septiembre 2021.

## 2.2. Melanoidinas

La melanoidina es uno de los principales productos finales. Son compuestos poliméricos largos, que actúan como pigmentos marrones, dando a los alimentos cocinados ese color característico. La reacción de Maillard hace referencia a una reacción de pardeamiento no enzimático, ya que estas melanoidinas son producidas sin la ayuda de enzima, a diferencia del pardeamiento enzimático, que es el causante del rápido oscurecimiento de muchas frutas y verduras como las manzanas o los plátanos.

Diariamente, la población ingiere en torno a 2-10 gramos de melanoidinas y las principales fuentes de exposición son la bebida de café, y los cereales.

## 2.3. Aceite fijo

Los aceites fijos contienen una proporción mayor de glicéridos líquidos (poliinsaturados) tales como el oleato de glicerina, mientras que las grasas son ricas en glicéridos sólidos como el estearato de glicerina. Los glicéridos de ácidos grasos insaturados tienen un punto de fusión menor que los saturados con el mismo número de carbono. Los aceites vegetales son líquidos a temperatura ambiente mientras que las grasas animales, son sólidos. Existe una notable excepción entre la manteca de coco y el aceite de hígado de bacalao<sup>7</sup>.

En los aceites fijos hay que hacer una distinción especial con los aceites volátiles pues, aunque por su estructura química pertenecen a esta clasificación,

---

<sup>7</sup> Universitat de Valencia. *La reacción química más sabrosa*. <https://www.uv.es/uvweb/master-quimica/es/blog/reaccion-quimica-mas-sabrosa-1285949128883/GasetaRecerca.html?id=1285955801934>. Consulta: septiembre 2021.

físicamente como su nombre lo indica, son volátiles. La diferencia radica en que los aceites volátiles no contienen ésteres de glicerina; son conocidos también como aceites esenciales tanto los aceites fijos como las grasas se obtienen por expresión de la planta o el tejido animal.

En este proceso el material se somete a presión hidráulica y se usa el calor en caso necesario. Los aceites que se obtienen en la primera expresión tienen un alto valor comercial tales como el aceite de oliva donde por primera expresión se obtiene el llamado aceite de oliva virgen pero las subsecuentes expresiones es necesario someterlas a un proceso de purificación. Los aceites fijos son frecuentemente tratados para su clarificación y finalmente filtrados. Algunas tecnologías obtienen el aceite mediante solvente volátil que se recupera posteriormente. Las grasas y los aceites animales son generalmente obtenidos por el método de calentamiento de los tejidos hasta su fundición y posterior separación mecánica.<sup>8</sup>

#### **2.4. El café**

El café es la semilla del cafeto, árbol de la familia de las rubiáceas, originaria de Etiopía y cultivada en climas tropicales en altitudes desde el nivel del mar hasta unos 1800 metros; las mejores calidades de café se producen a una elevación considerable, mientras que el café procedente de altitudes bajas es probable que sea de peor calidad.

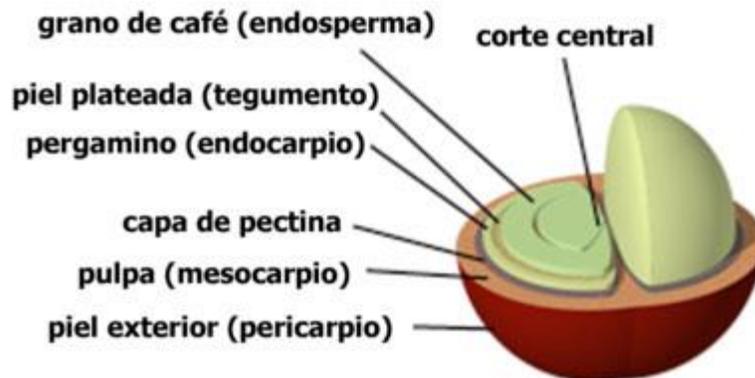
El fruto del cafeto por su color rojo cuando está maduro y su forma característica recibe el nombre de cereza. Contiene dos semillas semiesféricas, es decir, dos granos de café enfrentadas entre sí por la parte plana y recubiertas

---

<sup>8</sup> Temas de Farmacognosia. *Aceites fijos y grasas*. <https://www.plantas-medicinal-farmacognosia.com/temas/lipidos/aceites-fijos-y-grasas/>. Consulta: agosto 2018.

por un tegumento, un pergamino, una pulpa y una cáscara. En ocasiones, en lugar de dos semillas puede aparecer una sola denominándose caracolillo.<sup>9</sup>

Figura 2. **Partes del fruto de café**



Fuente: Nuestrocafe. *Partes del fruto de café*.

[http://nuestrocafe.com/opcion/know\\_the\\_coffee2\\_17.php?idioma=1](http://nuestrocafe.com/opcion/know_the_coffee2_17.php?idioma=1). Consulta: 02 de agosto 2018.

## 2.5. **Composición de un grano de café**

Un grano de café contiene: agua: el grano de café verde está constituido de 6 a 13 % de agua, el grano ya tostado no tiene más de 5 % de humedad. El agua se evapora durante el tostado. Las materias grasas: un grano contiene de 15 a 20 % de materia grasa. Proteínas: un grano encierra un promedio de 11 % de proteínas, de esto una parte será destruida durante el tostado. Alcaloides: (sustancia orgánica que se encuentra en el azote) el principal alcaloide es la cafeína. Los cafés arábicos contienen de 1 a 1,5 %, los robusta entre 1,6 a 2,7 %. El café robusto da un café más fuerte que la arábica. Materias minerales

---

<sup>9</sup> Nuestro Café. *Partes del fruto de café*. [http://nuestrocafe.com/opcion/know\\_the\\_coffee2\\_17.php?idioma=1](http://nuestrocafe.com/opcion/know_the_coffee2_17.php?idioma=1). Consulta: agosto 2021.

se pueden encontrar en pequeñas cantidades de potasio, calcio, magnesio y fósforo dentro del grano.<sup>10</sup>

Figura 3. **Fruto de café**



Fuente: Pixabay. *Café cereza*. <https://pixabay.com/es/photos/café-café-cereza-cafe-rojo-645514/>. Consulta: 02 de agosto 2018.

### **2.5.1. Origen del café en Guatemala**

En Guatemala, la historia del café comienza a mediados de 1850, en Antigua Guatemala. En 1700, Jesuitas traen las primeras plantas del café a la Ciudad Colonial, como plantas ornamentales para los jardines en su monasterio. No tenían idea de que estaban sembrando las semillas del futuro de Guatemala.

Durante la última mitad del 1700, la economía dependía de la exportación al viejo mundo del tinte basado en el a nil, cuya coloración es azul y del tinte rojo obtenido de la cochinilla, un insecto que crece en las hojas del cacto. En 1800, las plantaciones del a nil son devastadas por una plaga de las langostas, de las cuales la industria nunca se recupera.

---

<sup>10</sup> Nuestro Café. *Café cereza*. [http://nuestrocafe.com/opcion/know\\_the\\_coffee2\\_17.php?idioma=1](http://nuestrocafe.com/opcion/know_the_coffee2_17.php?idioma=1). Consulta: septiembre 2021.

Para sustituir al añil, el gobierno recurre a la exportación de café. Cuyas plantaciones se encontraban en el valle de Antigua Guatemala. En 1835, el gobierno ofrece premios a los primeros cuatro agricultores que cosechan 20 000 libras de café. El primer premio era de 300 pesos.

Antes de 1845, el interés en el café ha cobrado tanta importancia que publican un manual de 16 páginas con instrucciones para seleccionar el terreno apropiado, plantar, cosechar, y moler el producto.

La invención de tintes sintéticos a mitad del siglo anula la fuente de ingresos vinculada con la cochinilla. Hacia 1860, la industria de la cochinilla está desapareciendo. Para impulsar la exportación de café, el gobierno suspende los impuestos de exportación que lo gravaban. De esta forma, el café sustituye al añil y a la cochinilla como generador de ingresos. Pronto, se incrementa su cultivo en Fraijanes, Cobán, Atitlán y San Marcos. Antes de 1859 medio millón de cafetos se han plantado en el país. El mismo año marca la primera producción comercial del café de Guatemala, se envían bolsos de 383 x 60 kilos, casi todos a Europa.<sup>11</sup>

### **2.5.2. Origen del café en Guatemala según criterios**

El fruto del cafeto es una baya roja cuyas dos semillas son los granos de café. La composición química de los granos de café varía según la clase comercial, la región de origen, la altitud, las condiciones del suelo y los métodos empleados para manejar los granos.

---

<sup>11</sup> RAMÍREZ, Lourdes. *Evaluación del rendimiento de extracción y caracterización del aceite fijo de café tostado tipo genuino antigua obtenido por el proceso de prensado*. [http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08\\_1093\\_Q.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_1093_Q.pdf). Consulta: agosto 2018.

### 2.5.3. Tipos de café

Los cafés de Guatemala han sido clasificados en el grupo de “suaves lavados”, con una producción casi total en cafés Arábigos. Guatemala está situada en un lugar ideal dentro de la franja territorial productora de café en el mundo (20° latitud sur y 20° latitud norte de la línea ecuatorial) para producir excelentes cafés por su ondulación topográfica.

En Guatemala se han clasificado varios tipos de café, los que se determinan de acuerdo con la altura o región en que se cultivan: Bueno lavado 2 000 pies, Extra bueno lavado 2 000-2 500, Prima lavado 2500-3000, Extra-prima lavado 3 000-2 500 pies, Semiduro 3 500-4 000 pies, Duro 4 000-4 500 pies, estrictamente Duro a partir de 4 500 pies.

Figura 4. **Café tostado en grano y molido**



Fuente: Sabora. *Café molido*. <https://cafesabora.com/es/café-molido-o-café-en-grano-¿cuál-llevo-casa>. Consulta 02 de agosto 2018.

#### **2.5.4. Usos del café**

El café es una bebida altamente consumida a nivel mundial y por eso se ha podido preparar de distintas formas y para objetivos específicos. A continuación, se mencionan algunos.

##### **2.1.1.6. La infusión**

La bebida se obtiene por infusión del café molido en agua caliente idealmente. Para conservar su sabor, el café debe molerse justo antes de la infusión. Frecuentemente se comercializa molido y empacado al vacío. El café instantáneo (que se disuelve en una taza de agua caliente) o la cocción en cafetera son formas de preparar rápidamente la bebida.

Figura 5. **Bebida de café**



Fuente: El mañana. *Cafeína*.<https://elmanana.com/por-que-el-cafe-nos-ayuda-a-despertar-cafeina-cafe-alimentacion/4939548>. Consulta: 02 de agosto 2018.

#### **2.1.1.7. El café como fertilizante**

Los restos de café son buenos fertilizantes para los jardines debido a su alto contenido en nitrógeno. Los restos de café molido también contienen potasio, fósforo y muchos otros microminerales que ayudan al desarrollo de la planta. Muchos jardineros aseguran que a las rosas les favorecen los restos de café porque crecen y sus colores son más intensos.

Los restos de café también se añaden al estiércol vegetal para favorecer su calidad. Los restos de café se pueden conseguir de forma económica (normalmente gratis) en tiendas de café locales. Las grandes cadenas de tiendas de café pueden tener una política de utilizar como compost los restos de café o darlos a aquel que los pida.

#### **2.5.5. Clasificación de contenidos en el café**

El café se clasifica por carbohidratos, grasas, ácidos, componentes nitrogenados y componentes volátiles.

#### **2.1.1.8. Carbohidratos**

Estos comprenden las proteínas, los aminoácidos, la trigonelina y los alcaloides. La trigonelina representa cerca del 1 % del peso seco del café verde pero no sobrevive al tueste, descomponiéndose en ácido nicotínico, piridina y otros compuestos volátiles. El alcaloide más abundante es la cafeína, que comprende 1-2 % del peso seco.

Los granos de Robusta tienen más alto contenido de cafeína. Aunque sufre una sublimación muy marginal, la cafeína sobrevive al tueste. Una taza de café contiene de 30 a 180 mg de cafeína, según la mezcla y el modo de preparación.

#### **2.1.1.9. Componentes nitrogenados**

Estos comprenden varios ésteres de ácidos quínicos y representan del 7 % al 10 % de la materia seca del café verde. Durante el tueste ocurren diferentes reacciones químicas que reducen significativamente el porcentaje de ácidos clorogénicos libres aún presentes después del tueste.

#### **2.1.1.10. Ácidos clorogénicos**

Algunos ácidos alopáticos están presentes en el café verde, especialmente el cítrico, el málico y el quínico. El tueste genera otros ácidos, ya sean volátiles o no volátiles, y aumentan las proporciones del ácido quínico al descomponerse los ácidos clorogénicos.

#### **2.1.1.11. Ácidos carboxílicos**

Algunos ácidos alopáticos están presentes en el café verde, especialmente el cítrico, el málico y el quínico. El tueste genera otros ácidos, ya sean volátiles o no volátiles, y aumentan las proporciones del ácido quínico al descomponerse los ácidos clorogénicos.

### 2.1.1.12. Componentes volátiles

Cientos de componentes volátiles en cantidades muy pequeñas le dan al café su sabor único y su aroma.<sup>12</sup>

## 2.6. Lípidos

Estos constituyen del 8 % al 10 % del café verde. Los diterpenos (parecidos al colesterol) los kahweoles y los cafestoles son específicos del café. El contenido de lípidos puede llegar a un pequeño porcentaje en la preparación de café turco o cuando el café molido es percolado y no filtrado, pero los niveles son insignificantes en cafés filtrados e instantáneos.

Estos dos alcoholes diterpénicos llamados cafestol y Kahweol, que se liberan durante el preparado, son capaces de incrementar los niveles de colesterol. Así, los cafés tratados mediante filtros de papel son capaces de retener los alcoholes producidos y, sin embargo, el café sin filtrar incrementa la cantidad de cafestol y kahweol presentes en el líquido que se bebe. La mencionada heterogeneidad estructural de los lípidos dificulta cualquier clasificación sistemática.

Aunque raras vez se hallan en estado libre, los llamados *ácidos grasos*, ácidos carboxílicos de cadena larga, forman parte de la inmensa mayoría de los lípidos. Por esta razón, los lípidos se dividen en dos grandes grupos:

- Lípidos relacionados con ácidos grasos

---

<sup>12</sup> RAMÍREZ, Lourdes. Evaluación del rendimiento de extracción y caracterización del aceite fijo de café tostado tipo genuino antigua obtenido por el proceso de prensado. [http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08\\_1093\\_Q.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_1093_Q.pdf). Consulta: agosto 2018.

- lípidos no relacionados con ácidos grasos

Los ácidos grasos son ácidos carboxílicos de cadena larga que se hallan normalmente formando parte de otros lípidos, casi siempre por medio enlaces éster, y rara vez de amina. Según la naturaleza de la cadena carbonada, los ácidos grasos pueden ser saturados o insaturados, lineales, ramificados o alicíclos y pueden contener como sustituyentes grupos hidroxilo u oxo.

Los ácidos carboxílicos presentan solubilidad decreciente en agua al aumentar la longitud de la cadena carbonada, de manera que a partir de C12:0 son prácticamente insolubles. Las sales de los ácidos grasos se llaman jabones.

### **2.6.1. Lípidos relacionados con ácidos grasos**

Lípidos que por hidrólisis liberan ácidos grasos. Alcoholes superiores y ceras. Por reducción de los ácidos grasos se obtienen alcoholes monohidroxílicos de cadena larga, los alcoholes forman esterres con el glicerol o ésteres con ácidos grasos, las cuales se llaman ceras y dan su carácter hidrofóbico; glicéridos simples que constan de ácidos, aldehídos o alcoholes grasos y glicerol; Fosfoglicéridos, lípidos más polares que los glicéridos simples porque contiene algunos componentes hidrofílicos, la estructura de la molécula es tal que se distinguen una parte hidrofílica y otra hidrofóbica; Esfingenina, cerámicos y esfingofosfolípidos; esfingoglicolípidos; prostaglandinas.

La principal diferencia entre los ácidos grasos radica en la presencia o no de dobles enlaces en su molécula. Así, la grasa saturada carece de ellos, la grasa monoinsaturada tiene un doble enlace y la poliinsaturada puede tener dos o más enlaces.

Las grasas y los aceites constituyen una clase bien definida de sustancias neutras, solubles en éter y otros disolventes orgánicos, pero no en agua, producidas en alguna cantidad por todas las plantas y todos los animales.

Sin embargo, las grasas y los aceites comerciales se derivan de un número relativamente pequeño de especies del reino animal y vegetal, en los cuales aparecen en cantidad y en forma fácilmente asequible.

### **2.6.2. Lípidos no relacionados con ácidos grasos**

Si se exceptúan pequeñas proporciones de impurezas, algunas de las cuales pueden separarse por un tratamiento de refinación. Se trata de un grupo heterogéneo de biomoléculas que se encuentran en mayor o menor cantidad en todos los seres vivos y a veces poseen gran actividad biológica como es el caso de las hormonas esteroideas. Son lípidos en general poco polares en lo que se asemejan a los triacilgliceroles, unos se pueden considerar derivados por condensación del isopreno (isoprenoides).

Los lípidos isoprenoides se pueden dividir con fines didácticos en tres grupos: terpenoides, carotenoides y esteroides. Existen otros lípidos no relacionados con ácidos grasos, que no están emparentados estructuralmente con el isopreno. Entre estos se incluyen los hidrocarburos y los lípidos pirrólicos.

Los terpenoides suelen incluirse en este grupo unas pocas unidades de isopreno. Son frecuentemente en los aceites esenciales de plantas. Los carotenoides son derivados octaprenoides que constituyen multitud de pigmentos vegetales, como los de la zanahoria o el tomate.

Los esteroides son lípidos isoprenoides relacionados estructuralmente con el anillo ciclopentanoperhidrofenantreno, llamado también estereano, de los cuales se distinguen tres grupos: esteroides, sales biliares y hormonas esteroideas. La numeración común a todos estos anillos es el que se detalla en la molécula de colesterol. Los esteroides son los esteroides más abundantes, estructuralmente, se derivan del colestano. Se caracterizan por poseer al menos un grupo hidroxilo situado en C3 y un mínimo de 27 carbonos. Los más importantes son el colesterol en el reino animal, y el ergosterol en vegetal.

Los aceites esenciales, son llamados también aceites etéreos, aceites volátiles y esencias porque se creyó por su olor y sabor que en ellos se concentraba la esencia de las plantas, difieren en composición y en propiedades de los ácidos grasos o fijos, que se componen de glicéridos y de los aceites minerales que se componen de hidrocarburos.

## **2.7. Tueste del café**

El proceso de tueste convierte la sustancia natural presente en el café de almidones a azúcares y otros componentes, a través de la aplicación de calor, después se transforman el azúcar a caramelización del grano.

Los sabores de café son acentuados a través de la manipulación de dos variables principales que son la temperatura y el tiempo. El tiempo ideal para tostar café en tostadores modernos es de 8 a 10 minutos, el tiempo típico que emplea un tostador industrial de café es de 15 minutos. El café fue tostado por primera vez hacia finales del siglo XIV. El método más antiguo consistía en tostar el grano verde en una pesada sartén sobre brasas de carbón. Culminando el siglo pasado, fue inventado un nuevo proceso en el cual los granos eran centrifugados

en una cámara de aire caliente, calentada con gas natural. Este sistema perdura hasta nuestros días, siendo hoy el más usado.

La composición química de los granos cambia durante el proceso de tostado. El agua se disipa en el grano y una serie de reacciones químicas convierte los azúcares y almidones en aceites, los cuales otorgan al café gran parte de su aroma y sabor. Al ser tostado, el grano aumenta su tamaño al doble y la caramelización del azúcar cambia el color verde a marrón.

El color y aspecto del grano tostado dependen del tiempo de tostado. Mientras más largo sea el tiempo de tostado, más oscuro será el grano. Generalmente, el grano se tuesta durante 10 a 20 minutos a temperaturas oscilantes entre 400 F° y 425 F°.

El secreto en el desarrollo del aroma y sabor del café reside en el tostado de los granos de café. El tiempo y la temperatura de tostado son cruciales en la preparación de una buena taza de café, así como en la determinación de qué características serán realizadas y cuáles serán variadas.

Si el tostado es breve los aceites no saldrán hasta la superficie y el café tendrá un sabor como de nuez y poco cuerpo. Los granos tostados oscuros contienen menos acidez y un poco menos cafeína que los granos claros, aunque también menor período de conservación, debido a la cantidad de aceites en la superficie. En los tostados más oscuros predomina el sabor ahumado, penetrante y quemado, ocultando el verdadero sabor del grano. Al contrario de las creencias populares, un tostado más oscuro no equivale a una taza de café más rica ni más fuerte.

Los granos tostados claros tienen un sabor más intenso, más altos en acidez que los tostados más oscuros. El café ha sido menos expuesto al calor por lo cual las cualidades del grano son mejor mantenidas. Los tostados más claros se hacen con granos de más alta calidad, pues en este caso se expone el sabor real del grano.<sup>13</sup>

### **2.7.1. Cambios que ocurren en el proceso de tostado**

Las observaciones en los laboratorios generales de productos alimenticios conducen al concepto siguiente sobre los cambios químicos que ocurren durante la tostadura. Los principales componentes del café verde soluble en agua son proteínas, sacarosa y ácido clorogénico, que representan 70-75 % de los sólidos solubles. Casi toda la sacarosa desaparece al comienzo de la tostación.

Al parecer, se forman primero azúcares reductores, estos reaccionan rápidamente, de modo que la cantidad total de azúcar disminuye con rapidez al principio y después más lentamente, hasta el fin de la torrefacción, las reacciones del azúcar son la deshidratación y la polimerización; se forman sustancias de peso molecular elevado solubles en agua y sustancias insolubles en agua. Se cree que buena parte del color y el sabor del café tostado se debe a los productos de degradación de la sacarosa. Además de la pérdida de agua, se forman dióxido de carbono y otras sustancias volátiles y éstas reunidas hacen la mayor parte de la pérdida de peso seco durante la tostación.

Los carbohidratos se polimerizan y degradan, liberando monosacáridos térmicamente inestables descomponiendo del 20 % al 30 % de los polisacáridos, dependiendo del grado de tostado.

---

<sup>13</sup> RAMÍREZ, Lourdes. *Evaluación del rendimiento de extracción y caracterización del aceite fijo de café tostado tipo genuino antiguo obtenido por el proceso de prensado*. [http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08\\_1093\\_Q.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_1093_Q.pdf). Consulta: agosto 2018.

La sacarosa es el principal azúcar en el café, su degradación puede ocurrir tan bajo como lo es a 194 °F y comienza con la ruptura del enlace glucosídico seguida por condensación y la formación de agua. Entre los 338 y 392 °F comienza la caramelización, en este punto que el agua y la fractura del dióxido de carbono y la liberación de gases comienza causando la primera ruptura mecánica. Estas son las reacciones químicas, ocurriendo a aproximadamente 356 °F que son exotérmicas.

La celulosa es una fibra principal de la pared celular del café. Es parcialmente ordenada (cristalina) y parcialmente desordenada (amorfa). La celulosa original se convierte en celulosa poliforma cuando se expone al calor. Ocurre un daño severo en las paredes celulares de la matriz a temperaturas arriba de 446 °F y la superficie del grano sobre 536 °F.<sup>14</sup>

## **2.8. El café verde**

El café es una de las bebidas más consumidas y populares de todo el planeta. Estudios recientes indican que algunos constituyentes del café, como la cafeína, los ácidos fenólicos (derivados del ácido clorogénico), los compuestos formados durante la reacción de Maillard (melanoidinas) y ligninas, poseen propiedades antioxidantes.<sup>15</sup> Los antioxidantes evitan que se produzcan daños tisulares por radicales libres, actuando al reducir su formación o eliminarlos una vez originados.

---

<sup>14</sup> RAMÍREZ, Lourdes. *Evaluación del rendimiento de extracción y caracterización del aceite fijo de café tostado tipo genuino antigua obtenido por el proceso de prensado*. [http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08\\_1093\\_Q.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_1093_Q.pdf). Consulta: septiembre 2021.

<sup>15</sup> PÉREZ, Lucía et al. *Compuestos fenólicos, melanoidinas y actividad antioxidante de café verde y procesado de las especies coffea arábica y coffea canephora*. [file:///C:/Users/Gigabyte/Downloads/136-Texto%20del%20art%C3%83\\_culo-269-1-10-20150731%20\(3\).pdf](file:///C:/Users/Gigabyte/Downloads/136-Texto%20del%20art%C3%83_culo-269-1-10-20150731%20(3).pdf). Consulta: septiembre 2021.

De esta forma, se pueden reducir las enfermedades asociadas al estrés oxidativo como la diabetes, la neurodegeneración, las enfermedades hepáticas, cardiovasculares y cáncer.

En individuos adultos, las bebidas derivadas del café constituyen el 64 % de la ingesta total de antioxidantes. A pesar de que existen otros alimentos con una cantidad mayor de antioxidantes que el café, la frecuencia y volumen del consumo de este, lo convierten en la fuente dietaria principal de antioxidantes.

Durante el procesamiento del café, el tostado afecta marcadamente su composición, lo que puede reducir la actividad antioxidante, debido a la degradación del ácido clorogénico y otros compuestos fenólicos por ende se está considerando actualmente el consumo de la infusión de café sin tueste o también conocido como café verde. Sin embargo, se ha encontrado que la actividad antioxidante del café tostado se puede mantener debido a la formación de los productos de la reacción de Maillard.

Durante la última etapa de la reacción de Maillard, se forman compuestos poliméricos de color café llamadas melanoidinas. Éstas influyen en el color, sabor y textura de los alimentos sometidos a temperaturas altas. Entre algunas actividades biológicas importantes de las melanoidinas se encuentran la actividad antioxidante y la quelante.<sup>16</sup>

---

<sup>16</sup> PÉREZ, Lucía et al. *Compuestos fenólicos, melanoidinas y actividad antioxidante de café verde y procesado de las especies coffea arábica y coffea canephora*.  
file:///C:/Users/Gigabyte/Downloads/136-Texto%20del%20art%C3%83\_culo-269-1-10-20150731%20(3).pdf. Consulta: septiembre 2021.

### **2.8.1. El café verde y la salud**

El sobrepeso y la obesidad hoy representan una gran amenaza para la salud de la población del mundo. Aunque no existe una razón única que explique la epidemia de la obesidad, una de las causas más relevantes es el desbalance energético, es decir, la energía que se ingiere es superior a la que se gasta.

Esta diferencia hace que haya una acumulación de energía en el organismo en forma de grasa, dando como resultado el aumento de peso. Además, se suma el estilo de vida que cada vez es más sedentario, lo que agrava la situación. Cada 15 kilogramos extras, aumentan el riesgo de muerte temprana aproximadamente en 30 % y se duplican las posibilidades de no poder vivir una vida activa normal. No obstante, la obesidad puede prevenirse. Podría empezarse por el fomento de una cultura de alimentación saludable y una vida activa.

Todos los sectores de la sociedad están tomando medidas para disminuir el tamaño del problema de sobrepeso y obesidad, los gobiernos, la industria y, desde luego que cada uno de nosotros debemos estar atentos a cambiar nuestros hábitos desfavorables y a mantener una buena salud. Dentro del estilo de vida saludable puede incluirse el consumo de café, del que recientemente se han conocido los beneficios que puede aportar para reducir el riesgo de padecer enfermedades crónicas. Beber café puede ser también un aliado de los programas de control de peso.

La cafeína presente en el café tiene un efecto termogénico explicado en parte por la promoción de la quema de la grasa (oxidación) vía la estimulación del sistema nervioso central.

También se ha encontrado una relación positiva entre el consumo de café regular y la saciedad, como lo demuestra un estudio con 12 años de duración, donde las personas que incrementaron su consumo de cafeína ganaron menos peso que aquellas que lo disminuyeron. Así que la cafeína puede influir en el gasto de energía y en el consumo de energía. Otros hallazgos refieren que la pérdida de peso por efecto de la cafeína ocurre por la reducción de la grasa corporal y el posible incremento del metabolismo de las grasas.

Pero el café no es solo cafeína, contiene otros compuestos de importancia para la salud como el ácido clorogénico cuya acción para apoyar el control de peso, se debe a la disminución de la absorción de glucosa en el intestino delgado. El café es una de las fuentes alimenticias que más ácido clorogénico aporta a la dieta. Se ha informado que este compuesto inhibe el crecimiento de los preadipositos (precursores de las células que almacenan grasa) lo que podría ser un mecanismo para reducir la obesidad.<sup>17</sup>

En un estudio con ratones alimentados con una dieta alta en grasas, cuando se suministró ácido cafeico y ácido clorogénico, hubo una reducción de peso de 8 % y 16 % respectivamente. Al mismo tiempo, la ganancia en peso fue menor cuando estaba presente el ácido clorogénico y en especial en los riñones, hubo menor peso de tejido graso. Es decir, el ácido clorogénico disminuye la ganancia en peso y la grasa visceral, por lo que es un potente agente antiobesidad.

---

<sup>17</sup> PEDROZA, Ruth. *El café te ayuda a mantener un peso saludable*. <https://plenilunia.com/nutricion/alimentacion-saludable/el-cafe-te-ayuda-a-mantener-un-peso-saludable/15851/>. Consulta: septiembre 2021.

También se ha demostrado que el consumo continuo de café reduce la grasa corporal, particularmente la grasa abdominal, incluyendo la grasa depositada en las vísceras humanas.<sup>18</sup>

Figura 6. **Granos de café verde**



Fuente: CORBIN, José. *16 beneficios y propiedades del café verde*.  
<https://psicologiaymente.com/nutricion/beneficios-cafe-verde>. Consulta: 05 de agosto 2018.

## **2.8.2. El extracto de café verde**

El extracto de semillas de café verde consiste en suplemento dietario a base de semillas de café verde que han pasado por un proceso por el cual se han extraído sus componentes activos.

### **2.1.1.13. Polifenoles**

Los polifenoles presentes en el extracto poseen muchas propiedades biológicas, como antibacteriales y antioxidantes, además de efectos particularmente hipoglucemiantes e hipolipemiente. En particular, el ácido

---

<sup>18</sup> PEDROZA, Ruth. *El café te ayuda a mantener un peso saludable*.  
<https://plenilunia.com/nutricion/alimentacion-saludable/el-cafe-te-ayuda-a-mantener-un-peso-saludable/15851/>. Consulta: agosto 2018.

clorogénico, ha demostrado tener actividad para modular los niveles de glucosa y el metabolismo de los lípidos, tanto en individuos sanos como aquellos individuos con desordenes metabólicos.

#### **2.1.1.14. Ácido clorogénico**

Efecto hipoglucemiante: el consumo regular de café ha sido asociado con bajo riesgo de diabetes mellitus tipo 2, siendo el ácido clorogénico el componente bioactivo de mayor proporción, después de la cafeína, el que podría provocar este efecto beneficioso. El ácido clorogénico (CGA) provoca una reducción significativa en el pico de glucosa en plasma en la prueba de tolerancia oral a la glucosa, probablemente mediante la atenuación de la absorción intestinal de la misma, además, provoca la estimulación de la captación de glucosa tanto de los adipocitos sensibles como los resistentes a insulina.

El CGA estimula la secreción de insulina de la línea de células secretoras de insulina INS-1E y de los islotes de Langerhans de ratas. Ensayos clínicos también han demostrado que el CGA del café es capaz de modular la secreción de insulina en los seres humanos.

El efecto sobre el metabolismo lipídico se ha realizado en investigaciones sobre el efecto in vivo de CGA en ratas obesas (hiperlipémicas) y con resistencia a la insulina, demostraron una disminución del colesterol total y triglicéridos plasmáticos en ayuno del 44 % y 58 % respectivamente.

### **2.1.1.15. Reacciones adversas y toxicológicas**

El extracto de café verde, en general, es seguro. Sin embargo, los efectos adversos (reacciones no deseadas) que se han notificado se relacionan con su contenido en cafeína (hipertensión, ansiedad, trastornos gastrointestinales, diarrea, insomnio). En pacientes con glaucoma, la cafeína puede incrementar la presión intraocular agravando la patología, por lo que debe no debiera ingerirse si no es descafeinado.

Diversos estudios documentan reacciones asmáticas en trabajadores del café, con incremento de la IgE sérica. En cobayos inyectados intraperitonealmente con ácido clorogénico a dosis crecientes, se observó incrementos significativos de IL4 (interleukina 4) e IgE sérica; La IL-4 tiene un papel importante en el desarrollo de enfermedades atópicas como asma y dermatitis. La IgE (inmunoglobulina E) interviene en las reacciones alérgicas y en la respuesta inmune a diferentes patógenos como los parásitos.

En otro ensayo en ratas, pudo determinarse que el CGA a elevadas dosis provocó un aumento de la adhesión de leucocitos, generación de peróxidos en las paredes vasculares e indujo una pérdida de albúmina de vénulas mesentéricas, también incluyen un aumento de mieloperoxidasa, citoquinas inflamatorias y actividades de la NADPH oxidasa, con una disminución de la actividad del superóxido dismutasa y catalasa; todos ellos mediadores de la inflamación.

## **2.9. Los lípidos**

Constituyen un grupo de biomoléculas estructuralmente muy heterogéneo, pero con características comunes de solubilidad; es decir, son poco o nada solubles en agua, pero solubles en disolventes orgánicos (éter, benceno cloroformo). La mayor parte de los lípidos constituyen los aceites y grasas, como suelen ser productos de reserva y protección en el ser vivo, aunque no se debe olvidar que algunos lípidos complejos forman parte de las membranas biológicas, y de este modo participan activamente en muchos aspectos de la fisiología celular.

La mencionada heterogeneidad estructural de los lípidos dificulta cualquier clasificación sistemática. Aunque rara vez se hallan en estado libre, los llamados ácidos grasos, ácidos carboxílicos de cadena larga, forman parte de la inmensa mayoría de los lípidos, por ello se procederá a dividirlos en dos grupos:

- Lípidos relacionados con ácidos grasos.
- Lípidos no relacionados con ácidos grasos.

### **2.9.1. Ácidos grasos**

Son ácidos carboxílicos de cadena larga, que se hallan normalmente formando parte de otros lípidos, casi siempre por medio de enlaces éster, y rara vez amida. Según la naturaleza de la cadena carbonatada, los ácidos grasos pueden ser saturados o insaturados, lineales, ramificados o alicíclicos, y pueden contener como sustituyentes grupos hidroxilo u oxo.

### **2.9.2. Ácidos grasos comunes**

Se trata de un grupo heterogéneo de biomoléculas que se encuentran en mayor o menor cantidad en todos los seres vivos, y a veces poseen gran actividad biológica como es el caso de las hormonas esteroideas.

Existen los aceites volátiles o esenciales que se extraen del grupo de las especies aromáticas. El grupo de las oleaginosas comprenden solo las que se utilizan para extraer aceites fijos.

Los ácidos grasos más comunes son el palmítico, esteárico, butírico, entre otros. Entre los insaturados se destacan como monoinsaturados el oleico y como poliinsaturados el linolénico, linoléico, entre otros. De todos los ácidos grasos el más difundido en los vegetales es el oleico.

En el reino vegetal las grasas se encuentran en mayor o menor proporción en todas las partes de la planta. En las semillas, generalmente, los lípidos se encuentran en cantidades menores a los glúcidos. Si existen en proporción superior se les llama semillas oleaginosas (soja, girasol, maní, algodón, entre otros.).<sup>19</sup>

### **2.10. Calidad de los aceites**

La calidad de los aceites fijos es importante para justificar el cultivo de la especie que lo provee en forma rentable. Existen propiedades e índices que en su conjunto revelan el grado de calidad y conservación del aceite.

---

<sup>19</sup> ALVARADO, Andrea. *Evaluación y caracterización de aceites fijos de las semillas de dos especies de la familia Annonaceae: Annona muricata (guanaba) y Annona purpurea (chincuya) para su aplicación industrial*. <https://biblioteca-farmacia.usac.edu.gt/Tesis/QF1383.pdf>. Consulta: agosto 2018.

Entre las propiedades que definen la calidad de un aceite son: punto de fusión y de solidificación, densidad, índice de refracción, índice de acidez, índice de yodo, índice de peróxidos, índice de saponificación, entre otros.

### **2.10.1. Procesos de extracción de aceite**

Los procesos de extracción del aceite fijo de los granos de café pueden ser realizados por medio de diferentes técnicas operativas, la elección de estas depende de factores como el tiempo, la temperatura, el costo o el equipo que se tiene disponible.

#### **2.1.1.16. Por expresión**

Una vez molidas, las semillas se someten al prensado. Las prensas pueden ser hidráulicas, discontinuas y continuas. En la actualidad la extracción por presión se lleva a cabo casi exclusivamente por prensas continuas, por la economía de sus instalaciones, pero no realiza una profunda extracción de las materias grasas contenidas en sus semillas.

#### **2.1.1.17. Por solubilidad en solventes no polares**

Este sistema se caracteriza por su gran rendimiento, poco empleo de mano de obra y fuerza motriz. Permitiendo la recuperación del solvente no polar utilizado. Para el eficaz cumplimiento de los fenómenos de ósmosis, difusión y extracción, la materia prima debe recibir una adecuada preparación.

Esta consiste en el laminado de esta, donde el material, sin sufrir extracción ni molienda, toma forma de láminas delgadas que favorecen la difusión.

### **2.1.1.18. Sistema combinado**

Se hace una primera extracción utilizando el método por presión continúa y luego una segunda extracción con solvente. Cuando se usa solvente, se hace en forma combinada, siendo poco común el uso exclusivo del método por solvente.

## **2.11. Métodos de extracción**

Estos permiten obtener los productos en formas farmacéuticas adecuadas para su administración oral o externa, de acuerdo con el lugar de acción que se recomiende.

### **2.11.1. Lixiviación**

La lixiviación, o extracción sólido-líquido, es un proceso en el que un disolvente líquido pasa a través de un sólido pulverizado para que se produzca la disolución de uno o más de los componentes solubles del sólido. La extracción también puede ser líquido-líquido, en el que dos o más solventes entran en contacto parcial o totalmente, intercambiando masa debido a la polaridad de dichos solventes.

En el caso de la extracción del absoluto, este pasa a través de una extracción líquido-líquido y es debido a la polaridad de los solventes utilizados que se logra la remoción de fracciones lipídicas insolubles, logrando así un resultado de calidad.

### **2.11.2. Proceso de lixiviación**

Lixiviación es la eliminación de una fracción soluble, en forma de solución, a partir de una fase sólida permeable e insoluble a la cual está asociada. La separación implica, normalmente, la disolución selectiva, con difusión o sin ella, pero en el caso extremo del lavado simple, consiste solo en el desplazamiento (con alguna mezcla) de un líquido intersticial por otro, con el que es miscible. El constituyente soluble puede ser sólido o líquido y estar incorporado, combinado químicamente o adsorbido, o bien mantenido mecánicamente, en la estructura porosa del material insoluble.<sup>20</sup>

### **2.11.3. Método Soxhlet**

La extracción Soxhlet ha sido y en muchos casos, continúa siendo el método estándar de extracción de muestras sólidas más utilizado desde su diseño en el siglo pasado, y actualmente, es el principal método de referencia con el que se comparan otros métodos de extracción. Además de muchos métodos de la EPA (U.S. Environmental Protection Agency) y de la FDA (Food and Drugs Administration) utilizan esta técnica clásica como método oficial para la extracción continua de sólidos.

En este procedimiento la muestra sólida finamente pulverizada se coloca en un cartucho de material poroso que se sitúa en la cámara del extractor soxhlet. Se calienta el disolvente extractante, situado en el matraz, se condensan sus vapores que caen, gota a gota, sobre el cartucho que contiene la muestra, extrayendo los analitos solubles. Cuando el nivel del disolvente condensado en la cámara alcanza la parte superior del sifón lateral, el disolvente, con los analitos

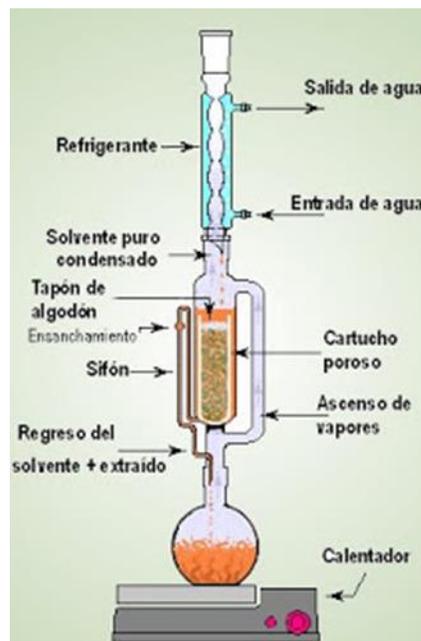
---

<sup>20</sup> Boletín Agrario. *Proceso de lixiviación*. <https://boletinagrario.com/ap-6,lixiviacion,565.html>. Consulta: septiembre 2021.

disueltos, asciende por el sifón y retorna al matraz de ebullición. Este proceso se repite hasta que se completa la extracción de los analitos de la muestra y se concentran en el disolvente.

La extracción Soxhlet es la técnica de separación sólido-líquido comúnmente usada para la determinación del contenido graso en muestras de diferente naturaleza. De igual modo, puede ser usada como técnica preparativa de muestra como paso previo al análisis mediante otra técnica instrumental, por ejemplo, la extracción de ácidos grasos en muestras de tocino para su posterior determinación mediante cromatografía de gases.<sup>21</sup>

Figura 7. **Diagrama de extractor Soxhlet**



Fuente: ALAMEDA, Alondra. Método Soxhlet. <https://alondraalameda.blogspot.com/2019/>.

Consulta: 01 de enero de 2019.

<sup>21</sup> Curso ciencias ambientales. *Extracción Soxhlet*. [https://www.upo.es/depa/webdex/quimfis/docencia/TAQ/curso0405/TAQP5\\_0405.pdf](https://www.upo.es/depa/webdex/quimfis/docencia/TAQ/curso0405/TAQP5_0405.pdf). Consulta: enero de 2019.

#### **2.11.4. Cromatografía**

Es un método físico de separación para la caracterización de mezclas complejas, la cual tiene aplicación en todas las ramas de la ciencia. Es un conjunto de técnicas basadas en el principio de retención selectiva, cuyo objetivo es separar los distintos componentes de una mezcla, permitiendo identificar y determinar las cantidades de dichos componentes.

Diferencias sutiles en el coeficiente de partición de los compuestos dan como resultado una retención diferencial sobre la fase estacionaria y, por tanto, una separación efectiva en función de los tiempos de retención de cada componente de la mezcla.

La cromatografía puede cumplir dos funciones básicas que no se excluyen mutuamente: Separar los componentes de la mezcla, para obtenerlos más puros y que puedan ser usados posteriormente (etapa final de muchas síntesis). Medir la proporción de los componentes de la mezcla (finalidad analítica). En este caso, las cantidades de material empleadas suelen ser muy pequeñas.

#### **2.11.5. Clasificación de los métodos de separación**

Las distintas técnicas cromatográficas se pueden dividir según cómo esté dispuesta la fase estacionaria:

- Cromatografía plana: la fase estacionaria se sitúa sobre una placa plana o sobre un papel. las principales técnicas son:
- Cromatografía en papel.
- Cromatografía en capa fina.

- Cromatografía en columna: la fase estacionaria se sitúa dentro de una columna.

Según el fluido empleado como fase móvil se distinguen:

- Cromatografía de líquidos.
- Cromatografía de gases.
- Cromatografía de fluidos supercríticos.

La cromatografía de gases se aplica a numerosos compuestos orgánicos. En el caso de compuestos no volátiles, se recurre a procesos denominados de derivatización, a fin de convertirlos en otros compuestos que se volatilicen en las condiciones de análisis.

#### **2.1.1.19. Cromatografía gaseosa**

Técnica cromatográfica en la que la muestra se volatiliza y se inyecta en la cabeza de una columna cromatográfica. La elución se produce por el flujo de una fase móvil de gas inerte. A diferencia de los otros tipos de cromatografía, la fase móvil no interactúa con las moléculas del analito; su única función es la de transportar el analito a través de la columna.

#### **2.1.1.20. Cromatografía gas-liquido (GLC)**

En la cromatografía gas-líquido se prepara una columna que contiene un soporte inerte (tubo largo) recubierto con una fase líquida estacionaria. La fase en movimiento es un gas inerte, normalmente helio, aunque a veces se usa el argón y el nitrógeno. La mezcla de muestra se introduce en la corriente de gas y,

por lo tanto, dentro de la columna. El inyector, la columna y los detectores normalmente se calientan.

El proceso de migración diferencial está gobernado por la partición del soluto entre la fase gaseosa en movimiento y la fase líquida estacionaria. Por lo tanto, la velocidad de transporte para un soluto a través de una columna depende de la velocidad del flujo del gas transportador, de la temperatura y de la fase líquida estacionaria. Hay un gran número de choques entre la fase en movimiento y la fase estacionaria para cada molécula de soluto, con el resultado de que aún los compuestos que son casi idénticos pueden ser separados.

La fase móvil debe tener bajo costo, ser compatible con el detector y tener alta pureza. Para dar mayor reproducibilidad al análisis, la saturación del gas debe ser constante y debe ser controlada a través de válvulas de gas. La inyección se realiza generalmente con microjeringas que contienen la muestra.

#### **2.1.1.21. Cromatografía gaseosa (GC-MS)**

Empleado para determinar la composición de una mezcla de productos químicos (muestra), un cromatógrafo de gases utiliza diversos gases en su operación en función del analizador y del tipo de detector concretos. El uso del gas especial y el equipo correctos cuando realice una cromatografía de gases mejorará considerablemente la precisión de sus resultados analíticos.

Un gas portador se utiliza para transportar la muestra por la columna del cromatógrafo de gases. Las impurezas críticas en el gas portador, como el agua o el oxígeno, pueden interactuar con la fase estacionaria y provocar problemas significativos, como un elevado ruido de línea base y purga de la columna en el

cromatograma de gases de salida, lo que reduciría la sensibilidad del analizador y reduciría la vida útil de la columna.<sup>22</sup>

---

<sup>22</sup> Carbuos Metálicos. *Cromatografía de gases*. <http://www.carbuos.com/Industries/Analytical-Laboratories/analytical-lab-applications/product-list/gas-chromatography-gc-analytical-laboratories.aspx?itemId=E04BB35D53DE44E8B751BA27B577AC43>. Consulta: enero de 2019.



### **3. MARCO METODOLÓGICO**

#### **3.1. Localización**

Los procedimientos experimentales del presente estudio se realizaron en los siguientes laboratorios:

- Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales (LIEXVE), Sección Química Industrial, Centro de investigaciones de Ingeniería, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala (USAC).
- Laboratorio de Investigación de Productos Naturales (LIPRONAT), Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Universidad de San Carlos de Guatemala (USAC).
- Laboratorio de Análisis Fisicoquímicos (LAFIQ), Sección de Química Industrial, Centro de Investigaciones de Ingeniería, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala (USAC).
- Unidad de Análisis Instrumental (UAI), Escuela de Química, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Universidad de San Carlos de Guatemala (USAC).
- Laboratorio de Instrumentación de Química Avanzada, Instituto de Investigaciones, Universidad del Valle de Guatemala (UVG).

### 3.2. Variables

Símbolo perteneciente a una expresión matemática representativo de un número.

#### 3.2.1. Variables dependientes

Son las variables que dependen de los valores de las variables independientes.

Tabla IV. Variables dependientes en el aceite fijo

No	Variables	Unidad de medida	Descripción
1	Densidad	g/mL	Depende de la procedencia de la semilla
2	Solubilidad	g/L	Depende de la procedencia de la semilla
3	índice de refracción	Adimensional	Depende de la procedencia de la semilla
4	Porcentaje de rendimiento	%	Depende de la procedencia de la semilla
5	Componentes químicos	%	Depende de la procedencia de la semilla

Fuente: elaboración propia.

### 3.2.2. Variables independientes

Representan causas potenciales de variación.

Tabla V. **Variables independientes en el aceite fijo**

No	Variables	Unidad de medida	Descripción
1	Procedencia de la materia prima	No aplica	Departamentos: Sacatepéquez y Quiché (Guatemala, C.A.)

Fuente: elaboración propia.

### 3.2.3. Variable de respuesta

Dados los resultados experimentales, se determinó que la variable de respuesta para el proceso extractivo del aceite fijo de café verde (*Coffea arábica L.*) sin tueste es el rendimiento de extracción que está en función del lugar de procedencia de la semilla.

Tabla VI. **Clasificación del café verde (*Coffea arábica* L.)**

<b>Materia prima</b>	<b>Lugar de procedencia (departamentos de Guatemala C.A.)</b>	<b>Altura sobre el nivel del mar (m)</b>	<b>Clasificación</b>
Café verde	Sacatepéquez	1 530	Estrictamente Duro
	Quiché	2 021	Estrictamente Duro

Fuente: elaboración propia.

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

Se refiere a los límites de recursos disponibles.

#### **3.3.1. Obtención de la materia prima**

El café verde (*Coffea arábica*) se obtuvo de los departamentos de Sacatepéquez y Quiché, Guatemala C.A.

### **3.4. Obtención de la fracción extractable de aceite fijo**

Se utilizaron las semillas del café seco sin tostar (*Coffea arábica*) procedentes de Sacatepéquez y Quiché, por el método de extracción Soxhlet a escala laboratorio. Dicho procedimiento se realizó en el Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales (LIEXVE), en la sección de Química Industrial del Centro de Investigaciones de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala (USAC).

### **3.5. Análisis fisicoquímico del aceite fijo**

La determinación de las características físicas del extracto como lo son solubilidad y densidad, se realizaron en el Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales (LIEXVE), en la sección de Química Industrial del Centro de Investigaciones de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala. El índice de refracción se obtuvo en el Laboratorio de Investigación de Productos naturales (LIPRONAT), Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Universidad de San Carlos de Guatemala (USAC). Se determinó el contenido de humedad de los granos en el Laboratorio de análisis Fisicoquímicos (LAFIQ), Sección de Química Industrial, Centro de Investigaciones de Ingeniería, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala (USAC).

### **3.6. Análisis cuantitativo del aceite fijo**

La determinación de los componentes químicos del extracto de la fracción lipídica por cromatografía gaseosa con acoplamiento a espectrometría de masas GC-MS se realizó en el Laboratorio de Instrumentación de Química Avanzada, Instituto de Investigaciones, Universidad del Valle de Guatemala (UVG).

También se obtuvo el contenido de cafeína por muestra de aceite fijo en la Unidad de Análisis Instrumental (UAI), Escuela de Química, Facultad de ciencias Químicas y Farmacia, Universidad de San Carlos de Guatemala (USAC).

### **3.7. Recursos humanos disponibles**

- Investigador: Bach. Ind & Per Mec. Automotriz. Luis Manuel Sut León.
- Asesores:
  - Inga.Qca. Telma Maricela Cano Morales.

- Ing.Qco. Mario José Mérida Meré.

### 3.8. Recursos materiales disponibles

Todo equipo, herramienta o material a disposición del investigador.

#### 3.8.1. Materia prima

Materia que se utiliza o transforma para elaborar otros materiales y serán bienes de consumo.

Tabla VII. **Materia vegetal utilizada**

<b>Materia prima</b>
Granos de café seco sin tueste

Fuente: elaboración propia.

Figura 8. **Granos de café verde sin tueste**



Fuente: elaboración propia.

### 3.8.2. Reactivos

Compuesto que se agrega a un sistema para probar o provocar una reacción química.

Tabla VIII. **Solvente utilizado en la extracción de aceite fijo**

Reactivo
Hexano

Fuente: elaboración propia.

### 3.8.3. Materiales auxiliares

Todo material adicional utilizado durante la experimentación.

Tabla IX. **Accesorios**

Útiles complementarios	Mangueras de plástico
	Papel filtro Whatmann No.1
	Viales color ámbar
	Algodón
	hojas de papel bond
	Folder
	Gancho
	Impresora
Equipo de protección personal	Bata
	Botas industriales
	Mascarilla de gases
	Mascarilla de polvo
	Guantes de látex
	Guantes de neopreno
	Lentes de laboratorio

Fuente: elaboración propia.

#### **3.8.4. Material de laboratorio**

Objetos de vidrio que se utilizan para procedimientos técnicos.

Tabla X. **Implementos de laboratorio utilizados**

Cristalería	Beakers de 250 mL, 500 mL, 1000 mL
	Probeta de 100 mL
	embudo de vidrio
	Erlenmeyer 100 mL
	vidrio reloj
	Espátula
	Balón de fondo plano 250 mL
	Balón de fondo redondo 250 mL
	Extensión de cristal 24/20
Complementos	papel mayordomo
	<i>masking tape</i>
	Marcadores
	cuaderno de apuntes
	Cámara fotográfica

Fuente: elaboración propia.

### 3.8.5. **Equipo**

Aparatos diseñados para uso en el laboratorio de investigación.

Tabla XI. **Equipo utilizado en la investigación**

Equipo	Bomba al vacío
	Plancha de calentamiento
	Molino
	Tamizadora
	Cromatógrafo de gases acoplado a masas
	Campana de extracción
	Extractor Soxhlet
	Rotaevaporador
	Refractómetro

Fuente: elaboración propia.

Figura 9. **Campana de extracción**



Fuente: Laboratorio de Investigación de Extractos vegetales, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.

Figura 10. **Plancha de calentamiento**



Fuente: Laboratorio de Investigación de Extractos vegetales, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.

Figura 11. **Extractor Soxhlet**



Fuente: Laboratorio de Investigación de Extractos vegetales, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.

Figura 12. **Rotaevaporador**



Fuente: Laboratorio de Investigación de Extractos vegetales, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.

### 3.9. **Recursos adicionales**

Elementos necesarios que se utilizan por ser imprescindibles.

Tabla XII. **Otros recursos utilizados**

Elementos adicionales	Jabón para manos y cristalería
	Electricidad
	Agua potable
	Computadora

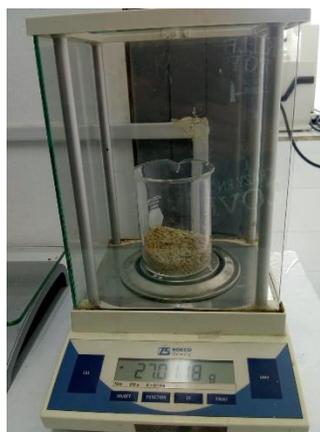
Fuente: elaboración propia.

Tabla XIII. **Instrumentos volumétricos de medición**

Instrumentos utilizados	Picnómetro 1mL
	pipeta serológica 2 mL
	balanza analítica

Fuente: elaboración propia.

Figura 13. **Balanza analítica**



Fuente: Laboratorio de Investigación de Extractos vegetales, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.

### 3.10. **Técnica cualitativa o cuantitativa**

Para el proyecto de investigación se utilizará técnicas cuantitativas para determinar el porcentaje de rendimiento, índice de refracción, densidad, componentes químicos activos en la fracción del extracto, contenido de cafeína y para la prueba de solubilidad se utilizará una prueba cuantitativa-experimental.

### 3.10.1. Extracción del aceite fijo a escala laboratorio

- Limpiar la materia prima separándolo de todo material extraño como tierra, hojas.
- Reducir el tamaño de la materia prima mediante molienda de esta.
- Llevar la materia prima a una humedad por debajo del 10 % mediante el secado del producto.
- Colocar 27 g de materia prima en el sistema de Soxhlet y agregar hexano en un balón en una relación 1:8 m/v en un beaker de 500 mL y activar el sistema de extracción.
- Dejar por 6 horas el sistema de extracción de la materia prima con el Hexano.
- Utilizar filtrado al vacío para separar la mezcla de solvente y la fracción lipídica de la materia prima.
- Rotaevaporar la mezcla de solvente-fracción lipídica para concentrar.
- Depositar el extracto en un vial debidamente identificado y tarado.

### 3.10.2. Rendimiento del aceite fijo a escala laboratorio

- Anotar el peso inicial de la materia prima.
- Tarar un vial ámbar
- Pesar en el vial la fracción extraída del café verde.
- Determinar el rendimiento dividiendo la masa del extracto obtenido con la masa de la materia prima inicial.

Ecuación para determinar el rendimiento:

$$\%R = \left( \frac{m_f}{m_{mp}} \right) * 100 \%$$

%R: porcentaje de rendimiento (adimensional).

$m_f$  = masa de absoluto. (g)

$m_{mp}$  = masa de la materia prima (g)

### 3.10.3. Densidad del aceite fijo a escala laboratorio

- Tarar un picnómetro de volumen de 1 mL.
- Medir 1 mL del aceite fijo de café verde (*Coffea arabica L.*) y depositar en un picnómetro de esa capacidad volumétrica.
- Pesarse en una balanza analítica el picnómetro más el aceite fijo.
- Determinar la masa del aceite fijo o masa final, restando la masa del picnómetro.
- Si la cantidad de aceite no es suficiente utilizar el método de diferencia de alturas para determinar la densidad.

Ecuación para determinar densidad

$$\rho = \left( \frac{m_{fp} - m_{op}}{V_p} \right) \quad \text{Ecuación No. 8}$$

$\rho$  = densidad (g/mL)

$m_{fp}$  = masa final del picnómetro (g)

$m_{op}$  = masa inicial del picnómetro (g)

$V_p$  = volumen del picnómetro (mL)

#### **3.10.4. Toma del índice de refracción a escala laboratorio**

- Limpiar el lente del prisma con agua desmineralizada.
- Agregar dos gotas del absoluto al prisma.
- Encender la lámpara y asegurar el brillo para adecuado para la medición
- Ajustar el brillo para realizar una medición correcta.
- Girar la perilla de compensación de color, hasta que aparezca una línea clara y definida.
- Alinear la línea girando la perilla de medición.
- Leer en la escala superior el índice de refracción.

#### **3.10.5. Medición de GC-MS a escala laboratorio**

- Inyectar dentro del espectrómetro 0,2 uL de absoluto diluido en 1 mL de etanol.
- Comparar el peso molecular de las especies en el extracto.
- Asignar un área porcentual a cada pico del cromatograma que representa un tiempo de retención.
- Identificar y nombrar cada componente del absoluto según la librería del programa que contiene el Cromatógrafo.

#### **3.10.6. Solubilidad en hexano a escala laboratorio**

- Tomar 1 mL de extracto y transferirlo a un tubo de ensayo.
- Agregar 3 mL de hexano a la muestra.
- Agitar vigorosamente y observar los cambios.
- Continuar agregando hexano hasta que la turbidez desaparezca.

### **3.10.7. Contenido de cafeína a escala laboratorio**

- Agitar vigorosamente la muestra para suspender toda partícula.
- Pesar aproximadamente 2 gotas de extracto y aforarlas a 10 mL con etanol.
- Agitar el balón para homogenizar la muestra.
- Preparar una curva de calibración de cafeína con concentraciones de 10, 20 y 30 ppm y generar la ecuación de la recta.
- Leer directamente en el espectrofotómetro con la muestra homogenizada a una longitud de onda de 285 nm, determinar su absorbancia y mediante la ecuación de la recta convertir la absorbancia en concentración de cafeína en el balón.
- Después de haber hallado la concentración de cafeína convertirlo a mg para luego obtener el porcentaje peso/peso, mediante la división de la masa de cafeína contenida en el balón respecto a la masa de cafeína contenida en 2 gotas concentradas.

### **3.11 Recolección y ordenamiento de la información**

La información obtenida en esta investigación fue recolectada como a continuación se detalla.

Tabla XIV. Datos de rendimiento región Quiché, Guatemala, C.A.

Procedencia	Repeticiones	Masa de Aceite (g)	Rendimiento (%)
Quiché	1	1,8439	6,8219
		1,6667	6,1726
		1,6965	6,2835
	2	1,7483	6,4752
		1,8271	6,7667
		1,7348	6,4252
	3	2,3764	8,8015
		1,9008	7,0400
		2,0934	7,7534
	4	2,6010	9,6300
		1,4514	5,3756
		1,9747	7,3136
	5	1,9651	7,2781
		1,9462	7,2081
		1,8963	7,0233
	6	1,7336	6,4207
		1,6551	6,1300
		1,6692	6,1825

Fuente: elaboración propia.

Tabla XV. **Datos de rendimiento región Sacatepéquez, Guatemala, C.A.**

<b>Procedencia</b>	<b>Repeticiones</b>	<b>Masa de Aceite (g)</b>	<b>Rendimiento (%)</b>
Sacatepéquez	1	1,6519	6,1182
		1,4653	5,4274
		1,5018	5,5625
	2	1,3305	4,9278
		1,826	6,7630
		1,5213	5,6345
	3	1,3549	5,0182
		1,5732	5,8267
		1,4184	5,2535
	4	2,0656	7,6504
		1,7455	6,4648
		1,8693	6,9235
	5	2,1557	7,9841
		1,5519	5,7477
		1,8018	6,6735
	6	1,8588	6,8844
		1,9473	7,2122
		1,4399	5,3333

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVI. Datos de densidad a 21 °C región Quiché, Guatemala, C.A.

Procedencia	Repeticiones	Masa de picnómetro con aceite (g)	Masa aceite (g)	Densidad (g/mL)
Quiché	1	4,4452	0,9182	0,9182
		4,4505	0,9235	0,9235
		4,4414	0,9144	0,9144
	2	4,4084	0,8814	0,8814
		4,4025	0,8755	0,8755
		4,4002	0,8732	0,8732
	3	4,3994	0,8724	0,8724
		4,4161	0,8891	0,8891
		4,4128	0,8858	0,8858
	4	4,4222	0,8952	0,8952
		4,4121	0,8851	0,8851
		4,3920	0,8650	0,8650
	5	4,4172	0,8902	0,8902
		4,4259	0,8989	0,8989
		4,4199	0,8929	0,8929
	6	4,4213	0,8943	0,8943
		4,4235	0,8965	0,8965
		4,4362	0,9092	0,9092

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVII. **Datos de densidad a 21 °C región Sacatepéquez, Guatemala, C.A.**

Procedencia	Repeticiones	Tara + aceite (g)	Masa aceite (g)	Densidad (g/mL)
Sacatepéquez	1	35,9312	0,0860	0,8600
		35,9291	0,0895	0,8950
		35,9386	0,0893	0,8930
	2	35,9565	0,0949	0,9490
		35,9305	0,0996	0,9960
		35,9360	0,0915	0,9150
	3	35,9368	0,0926	0,9260
		35,9337	0,0900	0,9000
		35,9386	0,0921	0,9210
	4	35,9432	0,0991	0,9910
		35,9364	0,0888	0,8880
		35,9324	0,0881	0,8810
	5	4,4608	0,9338	0,9338
		4,4240	0,8970	0,8970
		4,4442	0,9172	0,9172
	6	4,4355	0,9085	0,9085
		4,4233	0,8963	0,8963
		4,4789	0,9519	0,9519

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVIII. **Datos para índice de refracción a 24 °C escala laboratorio**

Departamento	Índice de refracción (adimensional)
Quiché	1,4721
	1,4617
	1,4677
	1,4707
	1,4557
	1,4647
Sacatepéquez	1,4516
	1,4617
	1,4717
	1,4617
	1,4557
	1,4657

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIX. **Datos de solubilidad en hexano a 21 °C escala laboratorio**

Departamento	Solvente	Masa de la muestra (g)	Volumen de solvente (mL)	Solubilidad (g/mL)
Quiché	Hexano	0,0500	3	0,0166
		0,6000	3	0,2000
		0,8922	3	0,2974
Sacatepéquez	Hexano	0,0500	3	0,0166
		0,6000	3	0,2000
		0,9178	3	0,3059

Fuente: elaboración propia.

Tabla XX. **Datos de contenido de cafeína de aceite fijo a escala laboratorio**

<b>Procedencia</b>	<b>Contenido de cafeína (% p/p)</b>
Quiché	3,4000
Sacatepéquez	1,1600

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXI. **Datos de composición química región Quiché, Guatemala, C.A.**

<b>Muestra: Quiché</b>				
<b>No.</b>	<b>Tiempo (min)</b>	<b>% Área</b>	<b>Compuesto químico</b>	<b>Numero CAS</b>
1	15,6380	0,0600	Ácido tricloroacetico	074339-49-4
2	20,6461	0,0800	7- Hexadeceno	035507-09-6
3	23,6210	0,3000	Ácido dodecanoico	000111-82-0
4	25,1950	0,0900	Ácido tricloracético pentadecil	074339-53-0
5	28,0200	0,3100	Metil tetradecanoato	000124-10-7
6	32,2730	28,4600	Ácido hexadecanoico	000112-39-0
7	32,4230	0,2100	Ácido pentadecanoico	005129-60-2
8	33,9830	0,2300	Ácido heptadecanoico	001731-92-6
9	35,9480	8,8400	Ácido octadecanoico	000112-61-8
10	36,2300	9,7800	Acido 9- octadecanoico	000112-62-9
11	37,0580	30,3800	9,12 -Ácido octadienoico	002566-97-4
12	37,9400	2,6200	11,14,17 -Ácido eicostrienoico	055682-88-7
13	39,2590	4,0100	Ácido eicosanoico	001120-28-1
14	39,5320	0,7100	11- Ácido octadecenoico	001937-63-9
15	42,7620	1,4500	Ácido nonadecanoico	001731-94-8
16	43,2940	5,7500	Ácido n-hexadecanoico	000057-10-3
17	48,4610	1,5300	Ácido octadecanoico	000057-11-4
18	49,3350	0,4700	Ácido 9- octadecenoico	1000190-13-7
19	51,1310	4,7200	7- Hexadeceno	074685-28-2

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXII. **Datos de composición química región Sacatepéquez, Guatemala, C.A.**

<b>Muestra: Sacatepéquez</b>				
<b>No.</b>	<b>Tiempo (min)</b>	<b>% Área</b>	<b>Compuesto químico</b>	<b>Numero CAS</b>
1	15,6470	0,1100	Ciclododecano	000294-62-2
2	20,6100	0,1200	1- hexadecanol	036653-82-4
3	21,1920	0,0400	3- ciclohexano-1-metanol	000080-26-2
4	23,6260	0,0600	Ácido dodecanoico	000111-82-0
5	25,1860	0,1000	5- octadeceno	007206-21-5
6	26,7550	0,1100	Benceno	002719-63-3
7	28,0240	0,3200	Metil tetradecanoato	000124-10-7
8	30,1440	0,1200	Ácido nonanoico	001931-63-1
9	30,2800	0,0400	Ácido 7- hexadecenoico	056875-67-3
10	32,3320	29,5600	Ácido hexadecanoico	000112-39-0
11	32,6050	0,1700	Ácido 9- hexadecenoico	001120-25-8
12	33,9970	0,3300	Ácido heptadecanoico	001731-92-6
13	36,0300	11,1300	Ácido octadecanoico	000112-61-8
14	36,3070	10,7500	Ácido 9- octadecenoico	000112-62-9
15	37,0210	19,7600	Ácido 9,12- octadecadienoico	002566-97-4
16	37,1260	11,3700	Ácido 9,12- octadecadienoico	002462-85-3
17	37,9670	2,5500	Ácido 9,12,15- octadecatrienoico	000301-00-8
18	39,2780	5,7900	Ácido Eicosanoico	001120-28-1
19	39,5410	0,8700	Ácido 9- hexadecenoico	001120-25-8
20	40,2510	0,3100	Octaetilenglicol	1000289-34-2
21	40,8970	0,5000	Ácido decanoico	000110-42-9
22	41,8660	0,3800	Octaetilenglicol	1000289-34-2
23	42,7570	2,8000	Ácido docosanoico	000929-77-1
24	43,2760	1,0100	Ácido n- hexadecanoico	000057-10-3
25	47,5700	0,9500	Ácido tetracosanoico	002442-49-1
26	51,0950	0,7800	Ácido 9,12- octadecadienoico	061886-66-6

Fuente: elaboración propia.

### 3.12 Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información

El procesamiento de los datos recopilados se presenta de la siguiente manera:

Tabla XXIII. **Deducción de rendimiento región Quiché, Guatemala, C.A.**

Procedencia	Repeticiones	Rendimiento (%)	Media (%)	Desviación estándar (%)
Quiché	1	6,8219	6,4260	0,3473
		6,1726		
		6,2835		
	2	6,4752	6,5557	0,1844
		6,7667		
		6,4252		
	3	8,8015	7,8650	0,8860
		7,0400		
		7,7534		
	4	9,6300	7,4397	2,1300
		5,3756		
		7,3136		
	5	7,2781	7,1698	0,1316
		7,2081		
		7,0233		
	6	6,4207	6,2444	0,1549
		6,1300		
		6,1825		

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIV. **Deducción de rendimiento región Sacatepéquez  
Guatemala, C.A.**

Procedencia	Repeticiones	Rendimiento (%)	Media (%)	Desviación estándar (%)
Sacatepéquez	1	6,1182	5,7027	0,3661
		5,4274		
		5,5625		
	2	4,9278	5,7751	0,9256
		6,7630		
		5,6345		
	3	5,0182	5,3661	0,4159
		5,8267		
		5,2535		
	4	7,6504	7,0129	0,5978
		6,4648		
		6,9235		
	5	7,9841	6,8018	1,1237
		5,7477		
		6,6735		
	6	6,8844	6,4766	1,0036
		7,2122		
		5,3333		

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXV. **Deducción densidad a 21 °C región Sacatepéquez, Guatemala, C.A.**

Procedencia	Repeticiones	Densidad (g/mL)	Media (g/mL)	Desviación estándar (g/mL)
Sacatepéquez	1	0,8600	0,8827	0,01966
		0,8950		
		0,8930		
	2	0,9490	0,9533	0,04067
		0,9960		
		0,9150		
	3	0,9260	0,9157	0,01380
		0,9000		
		0,9210		
	4	0,9910	0,9200	0,06159
		0,8880		
		0,8810		
	5	0,9338	0,9160	0,01843
		0,8970		
		0,9172		
	6	0,9085	0,9189	0,02922
		0,8963		
		0,9519		

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXVI. **Deducción de densidad a 21 °C región Quiché, Guatemala, C.A.**

Procedencia	Repeticiones	Densidad (g/mL)	Media (g/mL)	Desviación estándar (g/mL)
Quiché	1	0,9182	0,9187	0,00457
		0,9235		
		0,9144		
	2	0,8814	0,8767	0,00422
		0,8755		
		0,8732		
	3	0,8724	0,8824	0,00884
		0,8891		
		0,8858		
	4	0,8952	0,8818	0,0154
		0,8851		
		0,8650		
	5	0,8902	0,8940	0,00445
		0,8989		
		0,8929		
	6	0,8943	0,9000	0,00804
		0,8965		
		0,9092		

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXVII. **Deducción índice de refracción a 24 °C escala laboratorio**

Departamento	Índice de refracción (adimensional)	Media	Desviación estándar
Quiché	1,4721	1,4654	0,006107
	1,4617		
	1,4677		
	1,4707		
	1,4557		
	1,4647		
Sacatepéquez	1,4516	1,4613	0,007117
	1,4617		
	1,4717		
	1,4617		
	1,4557		
	1,4657		

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXVIII. **Deducción de solubilidad a 21 °C escala laboratorio**

Departamento	Solvente	Solubilidad (g/mL)	Media (g/mL)	Desviación estándar (g/mL)
Quiché	Hexano	0,01667	0,1714	0,1425
		0,2000		
		0,2974		
Sacatepéquez	Hexano	0,01667	0,1714	0,1425
		0,2000		
		0,2974		

Fuente: elaboración propia.

### 3.13 Análisis estadístico

$$S_2^2 = \sum_i \sum_j \frac{(x_{ij} - \bar{x}_i)^2}{h(n-1)} \quad \text{Ecuación No.4}$$

$S_2^2$  = media cuadrática dentro de la muestra

$x_{ij}$  = repetición j de la muestra i

$\bar{x}_i$  = media de la muestra i

$n$  = número de repeticiones

$h$  = número de muestras

$h(n-1)$  = grados de libertad

La variación entre muestras se define mediante la siguiente ecuación:

$$S_1^2 = \frac{n \sum_i (\bar{x}_i - \bar{x})^2}{h-1} \quad \text{Ecuación No.5}$$

$S_1^2$  = media cuadrática entre muestras

$n$  = número de repeticiones

$\bar{x}_i$  = media de la muestra i

$\bar{x}$  = media global

$h$  = numero de muestras

$(h-1)$  = grados de libertad

Para que la hipótesis nula sea correcta la variación entre  $S_1^2$  y  $S_2^2$  no debe ser significativa. Lo antes mencionado se comprueba mediante una Prueba F de una cola.

$$F = \frac{S_1^2}{S_2^2} \quad \text{Ecuación No. 6}$$

$S_2^2$  = media cuadrática dentro de la muestra

$S_1^2$  = media cuadrática entre muestras

Si la F está por arriba de la F crítica indica que hay diferencia significativa entre los resultados.

Tabla XXIX. **Datos ANOVA de rendimiento de aceite fijo escala laboratorio**

<b>Procedencia</b>	<b>Quiché</b>	<b>Sacatepéquez</b>
<b>Rendimiento</b>	6,4260	5,7027
	6,5557	5,7751
	7,8649	5,3661
	7,4397	7,0129
	7,1698	6,8017
	6,2444	6,4766
<b>Suma (%)</b>	41,7005	37,1351
<b>Promedio (%)</b>	6,9501	6,1892
<b>Varianza (%)</b>	0,4106	0,4443

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXX. **Resultado ANOVA de rendimiento de aceite fijo escala laboratorio**

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	1,7369	1	1,7369	4,0630	0,07149	4,9646
Dentro de los grupos	4,2750	10	0,4275			
Total	6,0119	11				

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXI. **Datos ANOVA de densidad a 21 °C escala laboratorio**

Procedencia	Quiché	Sacatepéquez
<b>Densidad</b>	0,9187	0,8827
	0,8767	0,9533
	0,8824	0,9157
	0,8818	0,9200
	0,8940	0,9160
	0,9000	0,9189
<b>Suma (g/mL)</b>	5,3536	5,5066
<b>Promedio (g/mL)</b>	0,8923	0,9178
<b>Varianza (g/mL)</b>	0,0002422	0,0005012

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXII. **Resultado ANOVA de densidad a 21 °C escala laboratorio**

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	0,001951	1	0,001951	5,2486	0,04494	4,9646
Dentro de los grupos	0,003717	10	0,0003717			
<b>Total</b>	0,005667	11				

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXIII. **Datos ANOVA índice de refracción 24 °C escala laboratorio**

Procedencia	Quiché	Sacatepéquez
Índice de Refracción	1,4721	1,4516
	1,4617	1,4617
	1,4677	1,4717
	1,4707	1,4617
	1,4557	1,4557
	1,4647	1,4657
<b>Suma (Adimensional)</b>	5,3536	5,5066
<b>Promedio (Adimensional)</b>	0,8923	0,9178
<b>Varianza (Adimensional)</b>	0,0002422	0,0005012

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXIV. **Resultado ANOVA índice de refracción a 24 °C escala laboratorio**

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
<b>Entre grupos</b>	5,0021E-05	1	5,0021E-05	1,1373	0,3113	4,9646
<b>Dentro de los grupos</b>	0,0004398	10	4,3981E-05			
<b>Total</b>	0,0004898	11				

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXV. **Datos ANOVA de solubilidad en hexano a 21 °C escala laboratorio**

Procedencia	Quiché	Sacatepéquez
<b>Solubilidad</b>	0,01667	0,01667
	0,2000	0,2000
	0,2974	0,2974
<b>Suma (g/mL)</b>	0,5141	0,5141
<b>Promedio (g/mL)</b>	0,1714	0,1714
<b>Varianza (g/mL)</b>	0,02032	0,02032

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXVI. **Resultado ANOVA solubilidad en hexano a 21 °C escala laboratorio**

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	0	1	0	0	1	7,7086
Dentro de los grupos	0,08127	4	0,02032			
<b>Total</b>	0,08127	5				

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXVII. **Datos prueba de TUKEY densidad a 21 °C escala laboratorio**

Procedencia	Quiché	Sacatepéquez
<b>Densidad (g/mL)</b>	0,9187	0,8827
	0,8767	0,9533
	0,8824	0,9157
	0,8818	0,9200
	0,8940	0,9160
	0,9000	0,9189
<b>Suma (g/mL)</b>	5,3536	5,5066
<b>Promedio (g/mL)</b>	0,8923	0,9178

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXVIII. **Diferencia de promedios de densidades 21 °C escala laboratorio**

	<b>Quiché</b>	<b>Sacatepéquez</b>
<b>Quiché</b>		-0,02600
<b>Sacatepéquez</b>	0,02600	

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXIX. **Resultado prueba de TUKEY de densidad a 21 °C escala laboratorio**

<b>Criterio</b>	<b>Valor (adimensional)</b>
Multiplicador	3,1500
Mse	3,701E-4
N	6,000
HSD	0,02479

Fuente: elaboración propia.



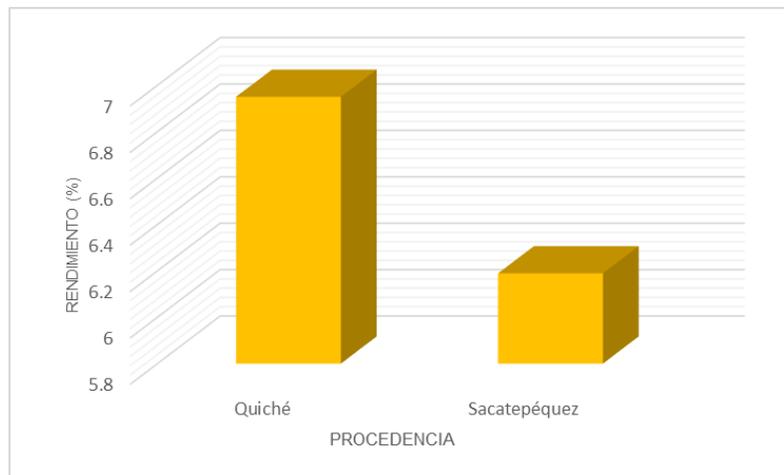
## 4. RESULTADOS

Tabla XL. Rendimientos de aceite fijo a escala laboratorio

Procedencia	Rendimiento (%)
Quiché	6,9501 ± 0,6408
Sacatepéquez	6,1892 ± 0,6659

Fuente: elaboración propia.

Figura 14. Rendimiento de aceite fijo vs. Procedencia escala laboratorio



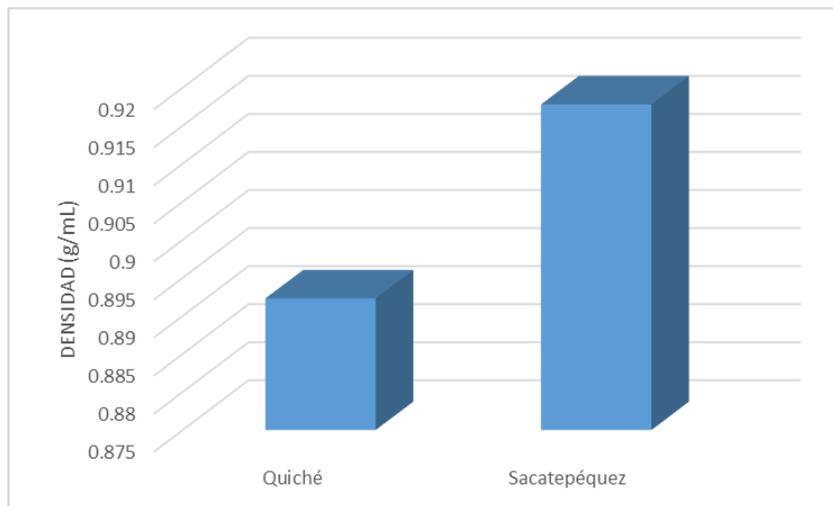
Fuente: elaboración propia.

Tabla XLI. **Densidad a 21 °C de aceite fijo a escala laboratorio**

<b>Procedencia</b>	<b>Densidad (g/mL)</b>
Quiché	0,8923 ± 0,01556
Sacatepéquez	0,9178 ± 0,02241

Fuente: elaboración propia.

Figura 15. **Densidad de aceite fijo vs. Procedencia escala laboratorio**



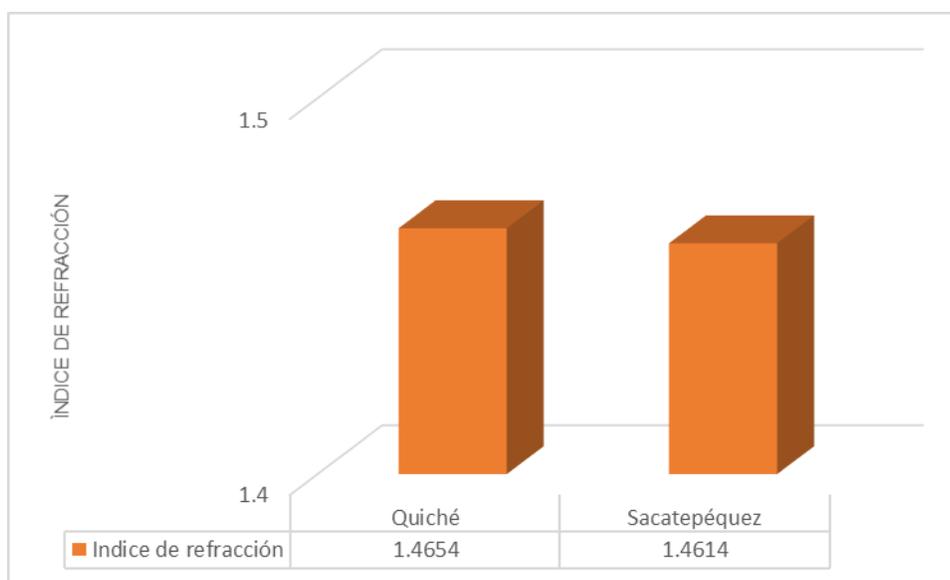
Fuente: elaboración propia.

Tabla XLII. Índice de refracción a 24 °C de aceite fijo a escala laboratorio

Procedencia	Índice de refracción (adimensional)
Quiché	1,4654 ± 0,006108
Sacatepéquez	1,4614 ± 0,007117

Fuente: elaboración propia.

Figura 16. Índice de refracción a 24 °C vs. Procedencia a escala laboratorio



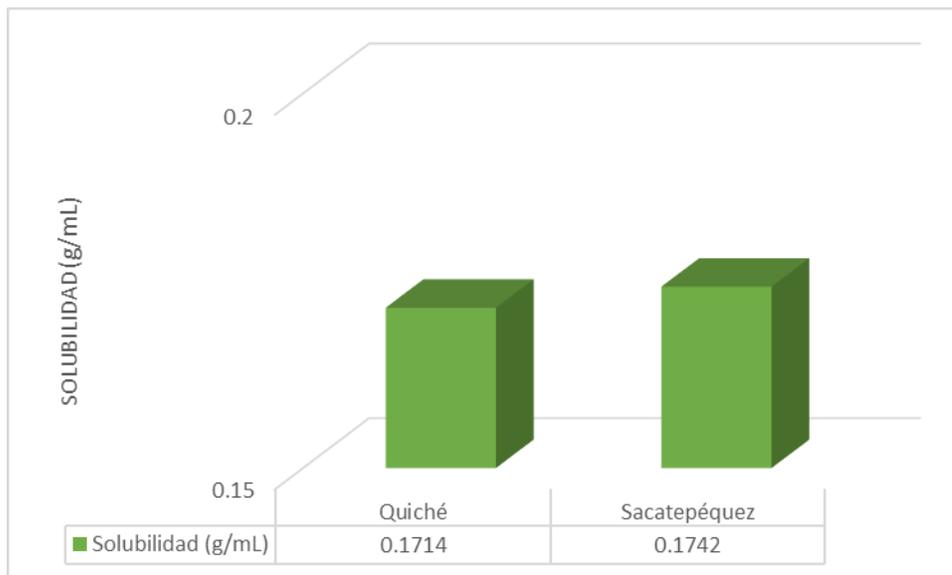
Fuente: elaboración propia.

Tabla XLIII. **Solubilidad en hexano a 21 °C de aceite fijo a escala laboratorio**

Procedencia (Guatemala C.A.)	Solubilidad (g/mL)
Quiché	0,1714 ± 0,1425
Sacatepéquez	0,1742 ± 0,1464

Fuente: elaboración propia.

Figura 17. **Solubilidad en hexano a 21°C vs. Procedencia escala laboratorio**



Fuente: elaboración propia.

Tabla XLIV. **Solubilidad a 21 °C de aceite fijo en distintos solventes**

<b>Solvente</b>	<b>Quiché, Guatemala, C.A.</b>	<b>Sacatepéquez, Guatemala, C.A.</b>
<b>Agua</b>	Insoluble	Insoluble
<b>Etanol</b>	Parcialmente soluble	Parcialmente soluble
<b>Hexano</b>	Soluble	Soluble

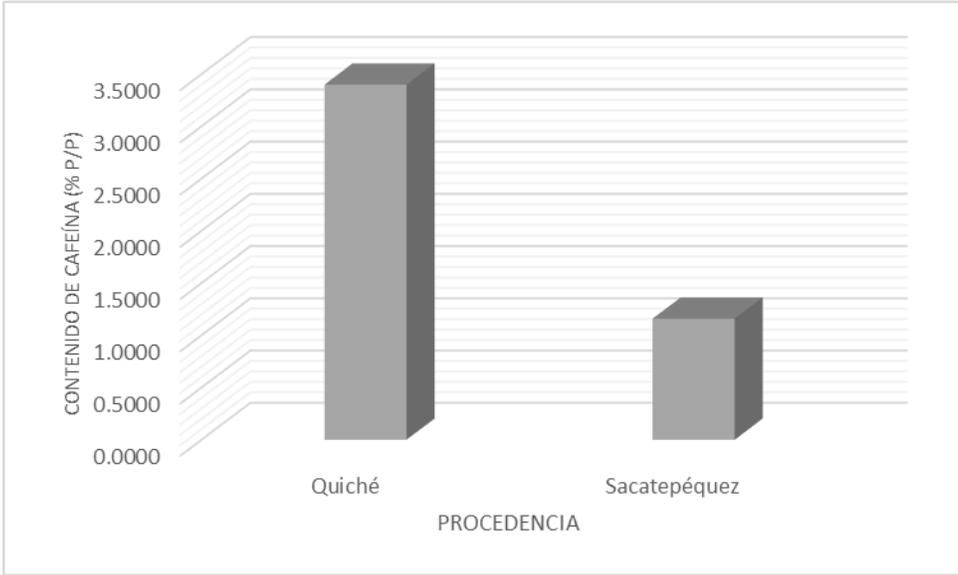
Fuente: elaboración propia.

Tabla XLV. **Contenido de cafeína en el aceite fijo a escala laboratorio**

<b>Procedencia (Guatemala, C.A.)</b>	<b>Contenido de cafeína (% p/p)</b>
Quiché	3,4000
Sacatepéquez	1,1600

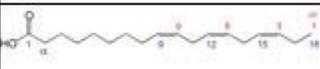
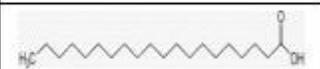
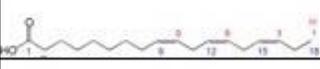
Fuente: elaboración propia.

Figura 18. **Cafeína en el aceite fijo vs. Procedencia escala laboratorio**



Fuente: elaboración propia.

Tabla XLVI. Composición química región Quiché, Guatemala C.A.

No	Número CAS	Nombre IUPAC	Nombre común	Estructura molecular	Molécula	% Area
1	002566-97-4	9,12-ácido octadienoico	Acido Alfa linolénico		C <sub>18</sub> H <sub>30</sub> O <sub>2</sub>	30,38
2	000112-39-0	Acido hexadecanoico	Acido Palmítico		C <sub>16</sub> H <sub>32</sub> O <sub>2</sub>	28,46
3	000112-62-9	Acido 9-octadecanoico	Acido Oleico		C <sub>18</sub> H <sub>34</sub> O <sub>2</sub>	9,78
4	000112-61-8	Acido Octadecanoico	Acido Esteárico		C <sub>18</sub> H <sub>36</sub> O <sub>2</sub>	8,84
5	000057-10-3	Acido hexadecanoico	Acido Palmítico		C <sub>16</sub> H <sub>32</sub> O <sub>2</sub>	5,75
6	000060-33-3	9,12-ácido octadienoico	Acido Alfa linolénico		C <sub>18</sub> H <sub>30</sub> O <sub>2</sub>	4,72
7	001120-28-1	Acido eicosanoico	Acido Araquídico		C <sub>20</sub> H <sub>40</sub> O <sub>2</sub>	4,01
8	055682-88-7	9,12-ácido octadienoico	Acido Alfa linolénico		C <sub>18</sub> H <sub>30</sub> O <sub>2</sub>	2,62
9	000057-11-4	Acido Octadecanoico	Acido Esteárico		C <sub>18</sub> H <sub>36</sub> O <sub>2</sub>	1,53
10	001731-94-8	Acido Nonadecanoico	Acido Nonadecylic		C <sub>19</sub> H <sub>38</sub> O <sub>2</sub>	1,45

Fuente: elaboración propia.

Tabla XLVII. **Composición química región Sacatepéquez, Guatemala, C.A.**

No	Número CAS	Nombre IUPAC	Nombre común	Estructura molecular	Molécula	% Area
1	000112-39-0	Acido hexadecanoico	Acido Palmítico		C <sub>16</sub> H <sub>32</sub> O <sub>2</sub>	29,56
2	002566-97-4	Acido 9,12-octadienoico	Acido Alfa-linolénico		C <sub>18</sub> H <sub>30</sub> O <sub>2</sub>	19,76
3	002462-85-3	Acido 9,12-octadienoico	Acido Alfa-linolénico		C <sub>18</sub> H <sub>30</sub> O <sub>2</sub>	11,37
4	000112-61-8	Acido Octadecanoico	Acido Esteárico		C <sub>18</sub> H <sub>36</sub> O <sub>2</sub>	11,13
5	000112-62-9	Acido 9-octadecanoico	Acido Oleico		C <sub>18</sub> H <sub>34</sub> O <sub>2</sub>	10,75
6	001120-28-1	Acido eicosanoico	Acido Araquídico		C <sub>20</sub> H <sub>40</sub> O <sub>2</sub>	5,79
7	000929-77-1	Acido Docosanoico	Acido Behénico		C <sub>22</sub> H <sub>44</sub> O <sub>2</sub>	2,80
8	000301-00-8	Acido cis, cis-9,12-Octadecadienoico	Acido linoleico		C <sub>18</sub> H <sub>32</sub> O <sub>2</sub>	2,55
9	000057-10-3	Acido hexadecanoico	Acido Palmítico		C <sub>16</sub> H <sub>32</sub> O <sub>2</sub>	1,01

Fuente: elaboración propia.

Tabla XLVIII. **Cuadro comparativo en las composiciones químicas de aceites fijos**

<b>Procedencia</b>		<b>Quiché</b>	<b>Sacatepéquez</b>
<b>No</b>	<b>Nombre común</b>	<b>% Área</b>	<b>% Área</b>
1	Ácido alfa-linolénico	30,38	19,76
2	Ácido palmítico	28,46	29,56
3	Ácido oleico	9,78	10,75
4	Ácido esteárico	8,84	11,13
5	Ácido palmítico	5,75	1,01
7	Ácido araquídico	4,01	5,79
8	Ácido behénico	0,00	2,80
9	Ácido linoleico	0,00	2,55
10	Ácido esteárico	1,53	0,00
11	Ácido nonadecylic	1,45	0,00

Fuente: elaboración propia.



## 5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

De acuerdo con los resultados en la tabla XL, el rendimiento de extracción de aceite fijo de café verde del departamento de Quiché fue de  $6,9501 \pm 0,6408$  % y para el departamento de Sacatepéquez se obtuvo un rendimiento de extracción de aceite fijo de café verde de  $6,1892 \pm 0,6659$  %. La tabla XXX indica que no existe diferencia significativa en los rendimientos de extracción de aceite fijo de café verde en ambos departamentos por lo que la extracción de aceite fijo puede ser efectiva en cualquiera de las dos regiones sin que una sea mucho más alta que la otra. Los rendimientos de extracción de aceite fijo que se obtuvieron se asemejan con el valor de rendimiento de extracción de aceite fijo de café por el método de extracción soxhlet realizado en un estudio<sup>23</sup> el cual fue de 6,10 %.

Es necesario tomar en cuenta que en el proceso de torrefacción de los granos de café verde se producen las reacciones de Maillard y con ello la producción mayoritaria de aceite, así como el aroma característico por el cual se conoce al café.<sup>24</sup> Es decir que para obtener mayores rendimientos de aceite fijo de café se puede realizar el proceso de torrefacción antes de la extracción del aceite fijo; sin embargo, si se trata de obtener las propiedades del aceite fijo de los granos verdes de café como son los ácidos clorogénicos y cafeico, esta opción no es recomendable.

---

<sup>23</sup> RAMÍREZ, Lourdes. *Evaluación del rendimiento de extracción y caracterización del aceite fijo de café tostado tipo genuino antigua obtenido por el proceso de prensado*. [http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08\\_1093\\_Q.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_1093_Q.pdf). Consulta: agosto 2018.

<sup>24</sup> RAMÍREZ, Lourdes. *Evaluación del rendimiento de extracción y caracterización del aceite fijo de café tostado tipo genuino antigua obtenido por el proceso de prensado*. [http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08\\_1093\\_Q.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_1093_Q.pdf). Consulta: agosto 2018.

En la tabla XLI se muestran los valores de densidad de los aceites fijos de café verde, para el departamento de Quiché la densidad es de  $0,8923 \pm 0,01556$  g/mL y para Sacatepéquez  $0,9178 \pm 0,02241$  g/mL, siendo menos denso el aceite fijo de Quiché que el de Sacatepéquez. Estos resultados son confirmados por los resultados en la tabla XXXII en donde se determina que sí existe diferencia significativa entre las densidades de aceite fijo de café verde de las regiones de Quiché y Sacatepéquez. Al existir diferencia significativa entre los aceites fijos de las dos regiones, se aplicó la prueba de Tukey para reconfirmar esta diferencia entre ambos grupos, de acuerdo con los resultados de la tabla XXXIX el valor HSD de 0,02479 es menor a la diferencia entre promedios de densidades del aceite fijo de café de ambas regiones que fue de 0,02600 ubicada en la tabla XXXVIII.

Por lo tanto, se confirma la existencia de una diferencia significativa entre la densidad del departamento de Quiché y Sacatepéquez, esto indica que la densidad es un factor para identificar la procedencia del aceite fijo de café en cualquiera de los dos departamentos. Así también según los valores de densidad del agua a 21 °C, ver anexo 1, se confirma que el agua es más densa que los aceites fijos de café verde de Quiché y Sacatepéquez, por las características propias de la estructura y masa molecular de cada una de las sustancias.

Según la tabla XXXIV no existe diferencia significativa en el índice de refracción para los extractos de café de las regiones de Quiché y Sacatepéquez, en la tabla XLII se tienen los valores correspondientes de índice de refracción de  $1,4654 \pm 0,006108$  para Quiché y  $1,4614 \pm 0,007117$  para la región de Sacatepéquez, según la investigación<sup>25</sup>, el índice de refracción obtenido para el aceite de café fue de 1,4785 por lo que ambos índices de refracción están en un

---

<sup>25</sup> RAMÍREZ, Lourdes. *Evaluación del rendimiento de extracción y caracterización del aceite fijo de café tostado tipo genuino antigua obtenido por el proceso de prensado*. [http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08\\_1093\\_Q.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_1093_Q.pdf). Consulta: agosto 2018.

rango cercano en el que se puede tomar de referencia para un índice de refracción de aceite fijo de café verde.

El hecho de que los índices de refracción de Quiché y Sacatepéquez no hayan diferido significativamente nos sugiere que en ambos aceites la misma velocidad de la luz los traspasa y por eso no es posible diferenciar la procedencia de los aceites de las regiones basado en este factor de calidad.

La solubilidad en hexano para el aceite de café de las regiones de Quiché y Sacatepéquez tabla XXXVI no presentó diferencia significativa entre ellos ya que hubo solubilidad completa en el solvente hexano, por lo que se considera que existe solubilidad cuando una cantidad entre 0,05000 gramos a 0,2974 gramos de aceite fijo de café verde se añade a 3 mL de solvente hexano. En la tabla XLIII se observa que la solubilidad del aceite fijo de café verde en hexano de las regiones de Quiché y Sacatepéquez fue de  $0,1714 \pm 0,1425$  g/mL y  $0,1742 \pm 0,1464$  g/mL respectivamente.

En este estudio también se experimentó la solubilidad cualitativa del aceite fijo de café verde de ambos departamentos en agua y etanol; en agua la solubilidad del aceite fijo de café verde de Sacatepéquez y Quiché fue totalmente nula quedando visibles 2 fases, esto se debe a que no existe similitud en la polaridad de las moléculas de ambas sustancias.

Por otra parte, la solubilidad del aceite fijo de café verde de los dos departamentos de Quiché y Sacatepéquez en etanol fue parcial ya que según las observaciones experimentales luego de haber mezclado aceite y etanol se observó la ligera presencia de una segunda fase mucho menor a la del primer caso con agua, esto debido a una mayor compatibilidad de polaridades entre el etanol y el aceite fijo de café verde de ambas regiones. Para aplicaciones futuras

cuando sea necesaria la solubilidad total entre etanol y aceite fijo de café verde de cualquiera de los dos departamentos también se pueden hacer modificaciones en factores influyentes para el mismo como la temperatura y otros que deben ser investigados con mayor detalle.

El contenido de cafeína en los extractos de café verde los da la tabla XLV según su procedencia. En el aceite fijo de café verde proveniente del departamento de Quiché se encontró que el contenido de cafeína en porcentaje en peso/peso es de 3,40 %, esto indica que en 100 gramos de aceite fijo de café verde hay presentes 3,40 gramos de cafeína. Para el aceite fijo de café verde proveniente del departamento de Sacatepéquez el contenido de cafeína en porcentaje en peso/peso fue de 1,16 % teniendo 1,16 gramos de este por cada 100 gramos de aceite fijo de café verde.

Según la investigación en la que se estudia la composición de los granos de café verde, el contenido de cafeína en café arábica generalmente contiene entre 0,9 % a 1,2 % similar al de la región de Sacatepéquez; sin embargo, han sido reportados valores extremos de 0,6 % a 3,0 % de contenido de cafeína; tal fue el caso en este estudio en el que el contenido de cafeína del aceite fijo de café verde del departamento de Quiché superó la cantidad hasta 3,40 %.<sup>26</sup>

Se debe tomar en cuenta que la región de Quiché se encuentra a mayor altitud que la región de Sacatepéquez por lo que dados los resultados de contenido de cafeína podría haber alguna influencia de la altitud a la cual está sembrada la planta de café con respecto al contenido de cafeína en sus frutos.

La composición química del aceite fijo de Quiché y Sacatepéquez evidencia que ambos están compuestos por los mismos ácidos grasos mayoritarios según

---

<sup>26</sup> CLIFFORD, M. *La composición de los granos de café verde y tostado*. <https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/740/2/1%20Composici%C3%B3n%20granos%20caf%C3%A9%20verde%20y%20tostado.pdf>. Consulta: agosto 2018.

el resultado del estudio cromatográfico, variando tres compuestos: el ácido behénico 2,80 %, el ácido nonadecanoico 1,45 % y el ácido linoleico con 2,55 %. Según la tabla XLVI se observa que los compuestos principales identificados por GC-MS para el departamento de Quiché fueron el ácido alfa linolénico 30,38 %, ácido palmítico 28,46 %, ácido oleico 9,78 %, ácido esteárico 8,84 % y el ácido araquídico 4,01 %.

La tabla XLVII muestra que los compuestos principales identificados por GC-MS en el aceite fijo de café verde del departamento de Sacatepéquez fueron el ácido palmítico 29,56 %, ácido alfa linolénico 19,76 %, ácido esteárico 11,13 %, ácido oleico 10,75 % y ácido araquídico 5,79 %; estos resultados son similares a los ácidos grasos encontrados en el aceite fijo de café verde de acuerdo con la investigación realizada.<sup>27</sup> En dicho estudio se realizó el análisis de lípidos y ácidos grasos en café verde de líneas avanzadas de *Coffea arábica* cultivadas en Colombia.

Así mismo en el estudio mencionado anteriormente en el que se analizó la composición del aceite fijo de café verde se determinó la presencia en mayor cantidad de los ácidos linolénico y palmítico. El tipo de ácidos grasos encontrados en el aceite fijo de Quiché y Sacatepéquez fue similar, la cantidad en porcentaje varió ya que en el aceite fijo de café verde de la región de Quiché se detectó mayor cantidad del ácido graso esencial alfa-linolénico 30,38 % y el ácido graso palmítico 28,46 %.<sup>28</sup> Esto podría ser debido a la temperatura en la que está cultivada la planta de café o en otras palabras debido a la altura a la cual está plantada la misma.

---

<sup>27</sup> VILLARREAL, Diana et al. *Análisis de lípidos y ácidos grasos en café verde de líneas avanzadas de coffea arábica cultivadas en Colombia*. 34 p.

<sup>28</sup> VILLARREAL, Diana et al. *Análisis de lípidos y ácidos grasos en café verde de líneas avanzadas de coffea arábica cultivadas en Colombia*. 35 p.

Según lo reportado se determinó que a mayor altitud en la que la planta de café estaba sembrada hubo mayor contenido de ácidos linoleico y linolénico. Por lo que se puede presumir que la región de Quiché estando a 500 metros a mayor altitud que Sacatepéquez puede presentar esta misma tendencia<sup>29</sup>.

---

<sup>29</sup> VILLARREAL, Diana et al. *Análisis de lípidos y ácidos grasos en café verde de líneas avanzadas de coffea arábica cultivadas en Colombia*. 35 p.

## CONCLUSIONES

1. Existe diferencia significativa entre las densidades del aceite fijo de café verde de los granos de café de los departamentos de Quiché y Sacatepéquez  $0,8923 \pm 0,01556$ ,  $0,9178 \pm 0,02241$  respectivamente.
2. No existe diferencia significativa entre la capacidad de rendimiento de extracción de aceite fijo de café verde de los granos de café procedentes de Sacatepéquez y Quiché.
3. No existe diferencia significativa en cuanto al índice de refracción de cada uno de los aceites fijos de café verde estudiados, pertenecientes a Sacatepéquez y Quiché.
4. No existe diferencia significativa entre la solubilidad del aceite fijo de café verde de la región de Quiché en hexano y la solubilidad del aceite fijo de café verde de la región de Sacatepéquez en hexano, puesto que ambos fueron solubles en hexano.
5. Se determinó que los ácidos grasos mayoritarios que componen a los aceites fijos de café verde de las regiones de Quiché y Sacatepéquez fueron: el ácido alfa-linolénico 30,38 % y el ácido palmítico 29,56 %.
6. Los aceites fijos de café verde de las dos regiones Sacatepéquez y Quiché se vieron caracterizados por componerse de los ácidos grasos: alfa-linolénico 30,38 %, palmítico 29,56 %, esteárico 11,13 %, oleico 10,75 % y araquídico 5,79 %.

7. El aceite fijo de café verde de la región de Quiché presento mayor cantidad de cafeína en comparación al aceite fijo de café verde de la región de Sacatepéquez, siendo de 3,40 % para Quiché y de 1,16 % para Sacatepéquez.

## RECOMENDACIONES

1. Realizar un estudio sobre la factibilidad económica y de rendimiento en la extracción de aceite fijo de café verde (*Coffea arabica L.*) a escala planta piloto e industrial.
2. Estudiar la composición y las propiedades fisicoquímicas del aceite fijo de café verde (*Coffea arabica L.*) de otras regiones de Guatemala.
3. Desarrollar investigaciones específicas sobre los ácidos clorogénicos que contiene el aceite fijo de café verde (*Coffea arabica L.*) de los granos de café en Guatemala.
4. Analizar el aprovechamiento de los ácidos grasos contenidos en el aceite fijo de café verde (*Coffea arabica L.*) para crear un producto de consumo humano a nivel industrial.



## BIBLIOGRAFÍA

1. ALAMEDA, Alondra. *Método Soxhlet*. 2019. [en línea] <<https://alondraalameda.blogspot.com/2019/>>. [Consulta: 10 de agosto de 2018].
2. ALVARADO, Andrea. *Evaluación y caracterización de aceites fijos de las semillas de dos especies de la familia Annonaceae: Annona muricata (guanaba) y Annona purpurea (chincuya) para su aplicación industrial*. Trabajo de graduación de Lic. Química Farmacéutica. Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2015. 14-22 p.
3. BOLETÍN AGRARIO. *Lixiviación*. 2012. [en línea] <<https://boletinagrario.com/ap-6,lixiviacion,565.html>>. [Consulta: 10 de agosto de 2018].
4. CARBUROS METÁLICOS. *Cromatografía de gases*. 2006. [en línea] <https://www.uv.es/uvweb/master-quimica/es/blog/reaccion-quimica-mas-sabrosa-1285949128883/GasetaRecerca.html?id=1285955801934>. [Consulta: 28 de septiembre de 2021].
5. CIENCIAS AMBIENTALES. *Técnicas avanzadas en química*. 2009. [en línea] <<https://www.upo.es/depa/webdex/quimfis/docencia/>>

TAQ/curso0405/TAQP5\_0405.pdf>. [Consulta: 10 de agosto de 2018].

6. CLIFFORD, M. *La composición de los granos de café verde y tostado*. 2011. [en línea] <file:///C:/Users/Gigabyte/Documents/Tesis%20informe%20final/Documentos%20para%20interpretacion%20de%20resultados/1%20Composici%C3%B3n%20granos%20caf%C3%A9%20verde%20y%20tostado%20Clifford%20M.N.%201975.pdf>. [Consulta: 11 de agosto de 2018].
7. DÍAZ, Vanessa et al. *Determinación de la composición y la capacidad antioxidante de aceites obtenidos por extracción con CO<sub>2</sub> supercrítico de granos de café con diferente grado de tuestión*. Trabajo de graduación de Lic. Química. Facultad de Ciencias, Universidad Industrial de Santander, 2011. 90 p.
8. EL MAÑANA. *¿Por qué el café nos ayuda a despertar?* 2019. [en línea] <<https://elmanana.com/por-que-el-cafe-nos-ayuda-a-despertar-cafeina-cafe-alimentacion/4939548>>. [Consulta: 10 de agosto de 2018].
9. FARMACOGNOSIA. *Aceites fijos y grasas*. 2012. [en línea] <<https://www.plantas-medicinal-farmacognosia.com/temas/lipidos/aceites-fijos-y-grasas/>>. [Consulta: 12 de agosto de 2018].

10. FULLQUIMICA. *Densidad del agua*. 2012. [en línea] <<https://www.fullquimica.com/2012/04/densidad-del-agua.html>>. [Consulta: 11 de agosto de 2018].
11. GIMENO, Eva. *Compuestos fenólicos*. 2004. [en línea] <<file:///C:/Users/Gigabyte/Documents/Tesis%20informe%20final/Documentos%20para%20interpretacion%20de%20resultados/OFFARRM.pdf>>. [Consulta: 13 de agosto de 2018].
12. GOTTELAND, Martín et al. *Algunas verdades sobre el café*. 2007. [en línea] <[https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0717-75182007000200002](https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-75182007000200002)>. [Consulta: 12 de agosto de 2018].
13. NUESTRO CAFÉ. *Significado del café*. 2015. [en línea] <[http://nuestrocafe.com/opcion/know\\_the\\_coffee2\\_17.php?idioma=1](http://nuestrocafe.com/opcion/know_the_coffee2_17.php?idioma=1)>. [Consulta: 13 de agosto de 2018].
14. PIXABAY. *Café cereza*. 2012. [en línea] <<https://pixabay.com/es/photos/caf%C3%A9-caf%C3%A9-cereza-cafe-rojo-645514/>>. [Consulta: 12 de agosto de 2018].
15. PEDROZA, Ruth. *El café te ayuda a mantener un peso saludable*. 2012. [en línea]. <<https://plenilunia.com/nutricion/alimentacion-saludable/el-cafe-te-ayuda-a-mantener-un-peso-saludable/15851/>>. [Consulta: 10 de agosto de 2018].

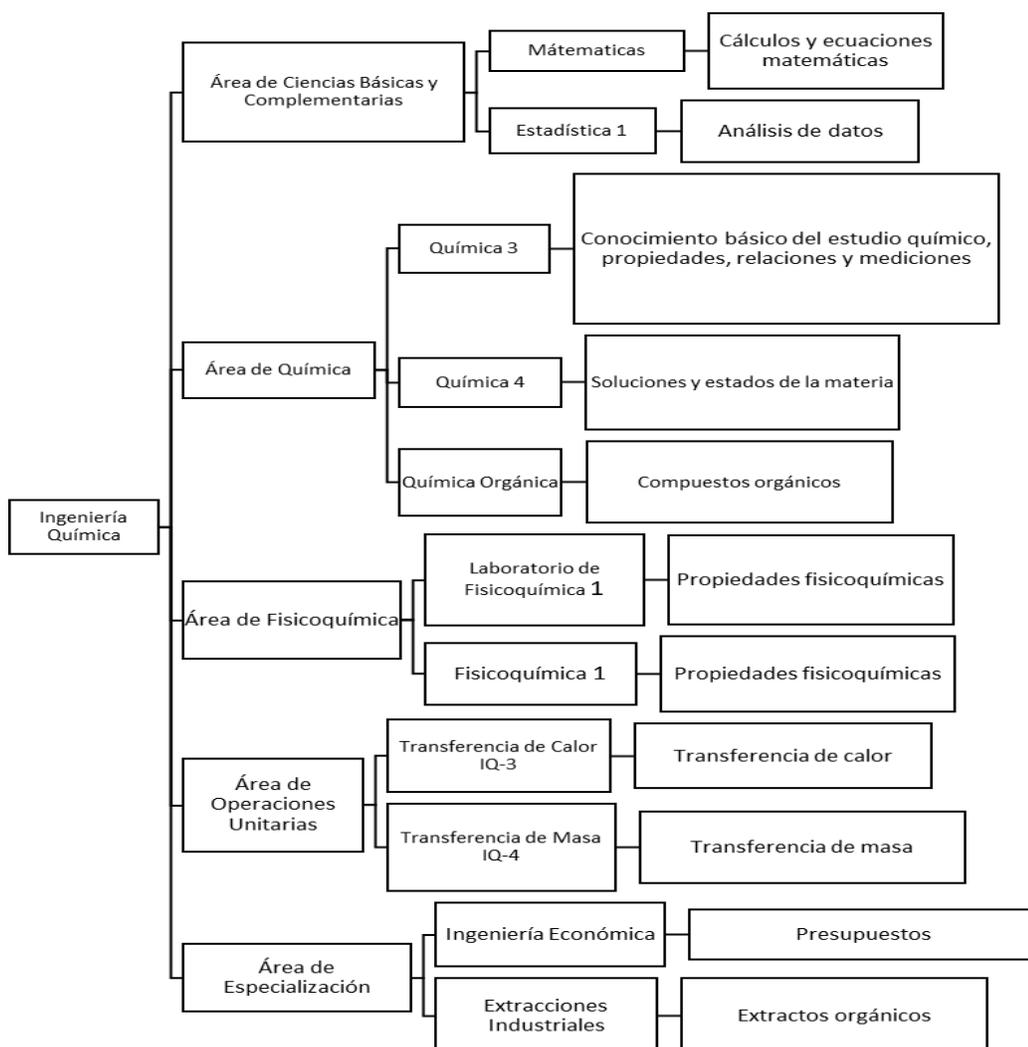
16. PÉREZ, Lucía et al. *Compuestos fenólicos, melanoidinas y actividad antioxidante de café verde y procesado de las especies coffea arábica y coffea canephora*. 2013. [en línea] <file:///C:/Users/Gigabyte/Documents/Tesis%20informe%20final/Documentos%20para%20interpretacion%20de%20resultados/Compuestos%20fen%C3%B3licos,%20antioxidantes%20de%20caf%C3%A9%20verde,%20Lucia%20p%C3%A9rez,%20karla%20chavez.pdf>. [Consulta: 13 de agosto de 2018].
17. PÉREZ, Martha et al. *El café en la nutrición humana*. 2018. [en línea] <<http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:0WHP35RPGelJ:uvsfajardo.sld.cu/el-cafe-en-la-nutricion-humana+&cd=1&hl=es&ct=clnk&gl=gt>>. [Consulta: 15 de agosto de 2018].
18. PÉREZ, Mónica. *Compuestos fenólicos y perfil de ácidos grasos en granos de café (Coffea arábica L.) verde y tostado de variedades e híbridos cultivados en Coatepec, Veracruz*. Trabajo de graduación de Maestro en ciencias alimentarias. Instituto de Ciencias Básicas, Universidad Veracruzana, 2016. 87 p.
19. RAMÍREZ, Lourdes. *Evaluación del rendimiento de extracción y caracterización del aceite fijo de café tostado tipo genuino antigua obtenido por el proceso de prensado*. Trabajo de graduación de Ing. Química. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2008. 85 p.

20. SABORA. *Café molido o café en grano, ¿cuál llevo a casa?* 2017. [en línea]. <<https://cafesabora.com/es/caf%C3%A9-molido-o-caf%C3%A9-en-grano-%C2%BFcu%C3%A1l-llevo-casa>>. [Consulta: 12 de agosto de 2018].
21. UNIVERSITAT de VALENCIA. *Las melanoidinas*. 2006. [en línea]. <<https://www.uv.es/uvweb/master-quimica/es/blog/reaccion-quimica-mas-sabrosa-1285949128883/GasetaRecerca.html?id=1285955801934>>. [Consulta: 28 de septiembre de 2021].
22. VILLARREAL, Diana et al. *Análisis de lípidos y ácidos grasos en café verde de líneas avanzadas de coffea arábica cultivadas en Colombia*. 2014. [en línea]. <<file:///C:/Users/Gigabyte/Documents/Tesis%20informe%20final/Documentos%20para%20interpretacion%20de%20resultados/2.Analisis%20Villarreal%20et%20al.pdf>>. [Consulta: 15 de agosto de 2018].



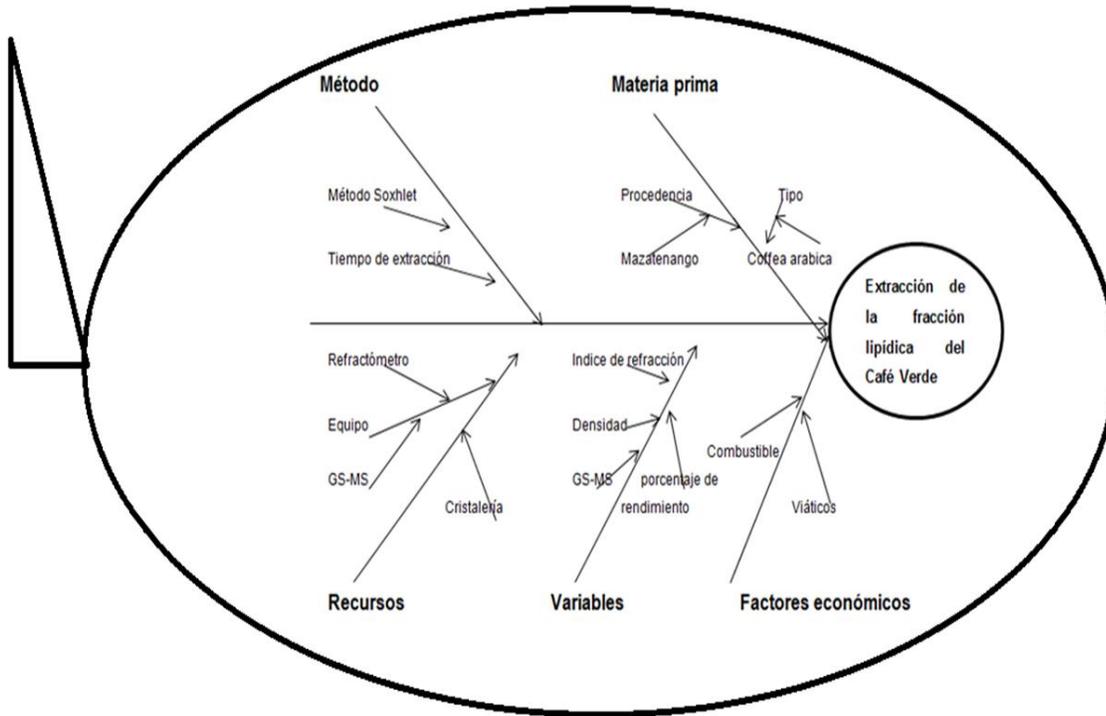
# APÉNDICES

Apéndice 1. Diagrama de requisitos académicos



Fuente: elaboración propia, datos recopilados de la Escuela de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería, USAC.

Apéndice 2. Diagrama de Ishikawa



Fuente: elaboración propia.

## ANEXOS

### Anexo 1. Densidad del agua a distintas temperaturas

Temperatura °C	Densidad kg / m <sup>3</sup>	Temperatura °C	Densidad kg / m <sup>3</sup>	Temperatura °C	Densidad kg / m <sup>3</sup>
0 (hielo)	917,00	33	994,76	67	979,34
0	999,82	34	994,43	68	978,78
1	999,89	35	994,08	69	978,21
2	999,94	36	993,73	70	977,63
3	999,98	37	993,37	71	977,05
4	1000,00	38	993,00	72	976,47
5	1000,00	39	992,63	73	975,88
6	999,99	40	992,25	74	975,28
7	999,96	41	991,86	75	974,68
8	999,91	42	991,46	76	974,08
9	999,85	43	991,05	77	973,46
10	999,77	44	990,64	78	972,85
11	999,68	45	990,22	79	972,23
12	999,58	46	989,80	80	971,60
13	999,46	47	989,36	81	970,97
14	999,33	48	988,92	82	970,33
15	999,19	49	988,47	83	969,69
16	999,03	50	988,02	84	969,04
17	998,86	51	987,56	85	968,39
18	998,68	52	987,09	86	967,73
19	998,49	53	986,62	87	967,07
20	998,29	54	986,14	88	966,41
21	998,08	55	985,65	89	965,74
22	997,86	56	985,16	90	965,06
23	997,62	57	984,66	91	964,38
24	997,38	58	984,16	92	963,70
25	997,13	59	983,64	93	963,01
26	996,86	60	983,13	94	962,31
27	996,59	61	982,60	95	961,62
28	996,31	62	982,07	96	960,91
29	996,02	63	981,54	97	960,20
30	995,71	64	981,00	98	959,49
31	995,41	65	980,45	99	958,78
32	995,09	66	979,90	100	958,05

Fuente: DE PAZ, César. *Densidad del Agua*. <https://fullquimica.com/2012/04/densidad-del-agua.html>. Fecha de consulta: 03 de marzo 2019.

## Anexo 2. Detalles cromatograma de aceite fijo región de Quiché

LIQA Library Search Report

Data Path : C:\msdchem\1\DATA\SERVICIO\  
 Data File : 190607-0001.D  
 Title :  
 Acq On : 7 Jun 2019 13:50  
 Operator : AdeM  
 Sample : Quiche  
 Misc : Muestra  
 ALS Vial : 1 Sample Multiplier: 1

Search Libraries: C:\Database\NIST05a.L Minimum Quality: 0  
 Unknown Spectrum: Apex  
 Integration Events: ChemStation Integrator - acgrasos.e

Pk#	RT	Area%	Library/ID	Ref#	CAS#	Qual
1	15.638	0.06	C:\Database\NIST05a.L Trichloroacetic acid, undecyl este Pentafluoropropionic acid, undecyl ester 5-Octadecene, (E)-	134226 135420 93546	074339-49-4 1000283-04-0 007206-21-5	91 87 87
2	20.646	0.08	C:\Database\NIST05a.L 7-Hexadecene, (Z)- 2-Tetradecene, (E)- 1-Hexadecene	74527 54521 74519	035507-09-6 035953-53-8 000629-73-2	98 93 92
3	23.621	0.30	C:\Database\NIST05a.L Dodecanoic acid, methyl ester Dodecanoic acid, methyl ester Dodecanoic acid, methyl ester	67167 67163 67169	000111-82-0 000111-82-0 000111-82-0	94 91 91
4	25.195	0.09	C:\Database\NIST05a.L Trichloroacetic acid, pentadecyl e ster 1-Nonadecene 9-Eicosene, (E)-	162015 102860 112106	074339-53-0 018435-45-5 074685-29-3	81 80 74
5	28.020	0.31	C:\Database\NIST05a.L Methyl tetradecanoate Tridecanoic acid, methyl ester Tridecanoic acid, methyl ester	86750 77299 77301	000124-10-7 001731-88-0 001731-88-0	97 90 90
6	32.273	28.46	C:\Database\NIST05a.L Hexadecanoic acid, methyl ester Tridecanoic acid, methyl ester Pentadecanoic acid, 14-methyl-, me thyl ester	105644 77299 105662	000112-39-0 001731-88-0 005129-60-2	96 95 94
7	32.423	0.21	C:\Database\NIST05a.L Pentadecanoic acid, 14-methyl-, me thyl ester Tetradecanoic acid, 12-methyl-, me thyl ester Methyl 3,4-di-O-methyl-.beta.-L-ar abinopyranoside	105659 96284 51572	005129-60-2 005129-66-8 002296-48-2	55 53 53
8	33.983	0.23	C:\Database\NIST05a.L Heptadecanoic acid, methyl ester Heptadecanoic acid, methyl ester Heptadecanoic acid, methyl ester	114853 114854 114852	001731-92-6 001731-92-6 001731-92-6	97 96 94
9	35.948	8.84	C:\Database\NIST05a.L Octadecanoic acid, methyl ester Octadecanoic acid, methyl ester Octadecanoic acid, methyl ester	123709 123708 123700	000112-61-8 000112-61-8 000112-61-8	98 98 98
10	36.230	9.78	C:\Database\NIST05a.L 9-Octadecenoic acid (Z)-, methyl e ster 9-Octadecenoic acid (Z)-, methyl e ster 9-Octadecenoic acid, methyl ester,	122321 122323 122328	000112-62-9 000112-62-9 001937-62-8	99 99 99

ACIDOS GRAS...X SCAN BIO.M Mon Jun 10 09:46:40 2019 Page: 1

Fuente: Laboratorio de Instrumentación de Química Avanzada. Universidad del Valle de Guatemala.

### Anexo 3. Continuación de anexo 2

LIQA Library Search Report

Data Path : C:\msdchem\1\DATA\SERVICIO\  
 Data File : 190607-0001.D  
 Title :  
 Acq On : 7 Jun 2019 13:50  
 Operator : AdeM  
 Sample : Quiche  
 Misc : Muestra  
 ALS Vial : 1 Sample Multiplier: 1

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

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

PK#	RT	Area%	Library/ID~	Ref#	CAS#	Qual
(E)-						
11	37.058	30.38	C:\Database\NIST05a.L 9,12-Octadecadienoic acid, methyl ester, (E,E)-	121112	002566-97-4	99
			9,12-Octadecadienoic acid, methyl ester	121093	002462-85-3	98
			11,14-Octadecadienoic acid, methyl ester	121099	056554-61-1	98
12	37.940	2.62	C:\Database\NIST05a.L 11,14,17-Eicosatrienoic acid, methyl ester	137080	055682-88-7	93
			9,12,15-Octadecatrienoic acid, methyl ester, (Z,Z,Z)-	119876	000301-00-8	91
			9,12,15-Octadecatrienoic acid, methyl ester, (Z,Z,Z)-	119875	000301-00-8	90
13	39.259	4.01	C:\Database\NIST05a.L Eicosanoic acid, methyl ester	140314	001120-28-1	98
			Eicosanoic acid, methyl ester	140312	001120-28-1	98
			Eicosanoic acid, methyl ester	140313	001120-28-1	97
14	39.532	0.71	C:\Database\NIST05a.L 11-Octadecenoic acid, methyl ester, (Z)-	122331	001937-63-9	64
			9-Octadecenoic acid (Z)-, methyl ester	122321	000112-62-9	64
			12-Octadecenoic acid, methyl ester	122311	056554-46-2	60
15	42.762	1.45	C:\Database\NIST05a.L Nonadecanoic acid, methyl ester	132330	001731-94-8	93
			Docosanoic acid, methyl ester	154649	000929-77-1	83
			Docosanoic acid, methyl ester	154650	000929-77-1	83
16	43.294	5.75	C:\Database\NIST05a.L n-Hexadecanoic acid	96235	000057-10-3	99
			n-Hexadecanoic acid	96234	000057-10-3	98
			n-Hexadecanoic acid	96233	000057-10-3	95
17	48.461	1.53	C:\Database\NIST05a.L Octadecanoic acid	114822	000057-11-4	97
			Octadecanoic acid	114818	000057-11-4	90
			Octadecanoic acid	114821	000057-11-4	87
18	49.335	0.47	C:\Database\NIST05a.L Octadec-9-enoic acid	113356	1000190-13-7	66
			Cyclotetradecane	54513	000295-17-0	74
			Oleic Acid	113353	000112-80-1	50
19	51.131	4.72	C:\Database\NIST05a.L 7-Hexadecyne	73055	074685-28-2	93
			9,12-Octadecadienoic acid (Z,Z)-	111993	000060-33-3	91
			9,12-Octadecadien-1-ol, (Z,Z)-	102837	000506-43-4	86

ACIDOS GRAS...X SCAN BIO.M Mon Jun 10 09:46:40 2019 Page: 2

Fuente: Laboratorio de Instrumentación de Química Avanzada. Universidad del Valle de Guatemala.

## Anexo 4. Detalles cromatograma de aceite fijo región de Sacatepéquez

LIQA Library Search Report

Data Path : C:\msdchem\1\DATA\SERVICIO\  
 Data File : 190607-0002.D  
 Title :  
 Acq On : 7 Jun 2019 14:56  
 Operator : AdeM  
 Sample : Sacatepequez  
 Misc : Muestra  
 ALS Vial : 2 Sample Multiplier: 1

Search Libraries: C:\Database\NIST05a.L Minimum Quality: 0  
 Unknown Spectrum: Apex  
 Integration Events: ChemStation Integrator - acgrasos.e

Pk#	RT	Area%	Library/ID	Ref#	CAS#	Qual
1	15.647	0.11	C:\Database\NIST05a.L			
			Cyclododecane	34947	000294-62-2	91
			Trichloroacetic acid, undecyl este	134226	074339-49-4	90
2	20.610	0.12	C:\Database\NIST05a.L			
			1-Hexadecanol	86860	036653-82-4	90
			9-Octadecene, (E)-	93547	007206-25-9	87
3	21.192	0.04	C:\Database\NIST05a.L			
			Cyclohexadecane	74524	000295-65-8	86
			3-Cyclohexene-1-methanol, .alpha.,	54334	000080-26-2	91
4	23.626	0.06	C:\Database\NIST05a.L			
			.alpha.,4-trimethyl-, acetate	54339	000080-26-2	91
			3-Cyclohexene-1-methanol, .alpha.,	54339	000080-26-2	91
5	25.186	0.10	C:\Database\NIST05a.L			
			.alpha.,4-trimethyl-, acetate	15357	000099-86-5	90
			1,3-Cyclohexadiene, 1-methyl-4-(1-			
6	26.755	0.11	C:\Database\NIST05a.L			
			methylethyl)-			
			Dodecanoic acid, methyl ester	67169	000111-82-0	96
7	28.024	0.32	C:\Database\NIST05a.L			
			Dodecanoic acid, methyl ester	67167	000111-82-0	94
			Dodecanoic acid, methyl ester	67163	000111-82-0	91
8	30.144	0.12	C:\Database\NIST05a.L			
			5-Octadecene, (E)-	93546	007206-21-5	91
			1-Nonadecanol	114936	001454-84-8	90
9	30.280	0.04	C:\Database\NIST05a.L			
			1-Nonadecene	102860	018435-45-5	83
			Benzene, (1-butylheptyl)-	89425	002719-63-3	55
10	32.332	29.56	C:\Database\NIST05a.L			
			Benzene, (1-butylheptyl)-	80017	004537-15-9	43
			Benzene, (1-butylheptyl)-	89432	002719-63-3	38
11	32.605	0.17	C:\Database\NIST05a.L			
			Methyl tetradecanoate	86750	000124-10-7	97
			Methyl tetradecanoate	86753	000124-10-7	91
12	32.605	0.17	C:\Database\NIST05a.L			
			Dodecanoic acid, methyl ester	67169	000111-82-0	90
			Nonanoic acid, 9-oxo-, methyl este	47033	001931-63-1	64
13	32.605	0.17	C:\Database\NIST05a.L			
			Decanoic acid, methyl ester	47245	000110-42-9	62
			Decanoic acid, methyl ester	47246	000110-42-9	60
14	32.605	0.17	C:\Database\NIST05a.L			
			Hexadecanoic acid, methyl ester	105644	000112-39-0	96
			Tridecanoic acid, methyl ester	77299	001731-88-0	95
15	32.605	0.17	C:\Database\NIST05a.L			
			Pentadecanoic acid, 14-methyl-, me	105662	005129-60-2	94
			thyl ester			

ACIDOS GRAS...X SCAN BIO.M Mon Jun 10 09:54:16 2019 Page: 1

Fuente: Laboratorio de Instrumentación de Química Avanzada. Universidad del Valle de Guatemala.

Continuación de Anexo 4.

LIQA Library Search Report

Data Path : C:\msdchem\1\DATA\SERVICIO\  
 Data File : 190607-0002.D  
 Title :  
 Acq On : 7 Jun 2019 14:56  
 Operator : AdeM  
 Sample : Sacatepequez  
 Misc : Muestra  
 ALS Vial : 2 Sample Multiplier: 1

Search Libraries: C:\Database\NIST05a.L Minimum Quality: 0  
 Unknown Spectrum: Apex  
 Integration Events: ChemStation Integrator - acgrasos.e

Pk#	RT	Area%	Library/ID	Ref#	CAS#	Qual
			9-Hexadecenoic acid, methyl ester, (Z)-	104152	001120-25-8	94
			11-Hexadecenoic acid, methyl ester	104135	055000-42-5	74
			Hexadecanoic acid, methyl ester	105639	000112-39-0	70
12	33.997	0.33	C:\Database\NIST05a.L			
			Heptadecanoic acid, methyl ester	114853	001731-92-6	98
			Heptadecanoic acid, methyl ester	114854	001731-92-6	98
			Heptadecanoic acid, methyl ester	114851	001731-92-6	95
13	36.030	11.13	C:\Database\NIST05a.L			
			Octadecanoic acid, methyl ester	123709	000112-61-8	99
			Octadecanoic acid, methyl ester	123708	000112-61-8	99
			Octadecanoic acid, methyl ester	123700	000112-61-8	98
14	36.307	10.75	C:\Database\NIST05a.L			
			9-Octadecenoic acid (Z)-, methyl ester	122321	000112-62-9	99
			9-Octadecenoic acid (Z)-, methyl ester	122323	000112-62-9	99
			9-Octadecenoic acid, methyl ester, (E)-	122326	001937-62-8	99
15	37.021	19.76	C:\Database\NIST05a.L			
			9,12-Octadecadienoic acid, methyl ester, (E,E)-	121112	002566-97-4	99
			9,12-Octadecadienoic acid, methyl ester	121093	002462-85-3	99
			11,14-Octadecadienoic acid, methyl ester	121099	056554-61-1	98
16	37.126	11.37	C:\Database\NIST05a.L			
			9,12-Octadecadienoic acid, methyl ester	121093	002462-85-3	99
			9,15-Octadecadienoic acid, methyl ester, (Z,Z)-	121114	017309-05-6	99
			9,12-Octadecadienoic acid, methyl ester, (E,E)-	121112	002566-97-4	99
17	37.967	2.55	C:\Database\NIST05a.L			
			9,12,15-Octadecatrienoic acid, methyl ester, (Z,Z,Z)-	119876	000301-00-8	93
			11,14,17-Eicosatrienoic acid, methyl ester	137080	055682-88-7	93
			9,12,15-Octadecatrienoic acid, methyl ester, (Z,Z,Z)-	119875	000301-00-8	89
18	39.278	5.79	C:\Database\NIST05a.L			
			Eicosanoic acid, methyl ester	140313	001120-28-1	99
			Eicosanoic acid, methyl ester	140314	001120-28-1	99
			Eicosanoic acid, methyl ester	140312	001120-28-1	98
19	39.541	0.87	C:\Database\NIST05a.L			
			9-Hexadecenoic acid, methyl ester, (Z)-	104156	001120-25-8	90
			9-Octadecenoic acid (Z)-, methyl ester	122321	000112-62-9	90

ACIDOS GRAS...X SCAN BIO.M Mon Jun 10 09:54:16 2019 Page: 2

Fuente: Laboratorio de Instrumentación de Química Avanzada. Universidad del Valle de Guatemala.

Continuación de anexo 4.

LIQA Library Search Report

Data Path : C:\msdchem\1\DATA\SERVICIO\  
 Data File : 190607-0002.D  
 Title :  
 Acq On : 7 Jun 2019 14:56  
 Operator : AdeM  
 Sample : Sacatepequez  
 Misc : Muestra  
 ALS Vial : 2 Sample Multiplier: 1

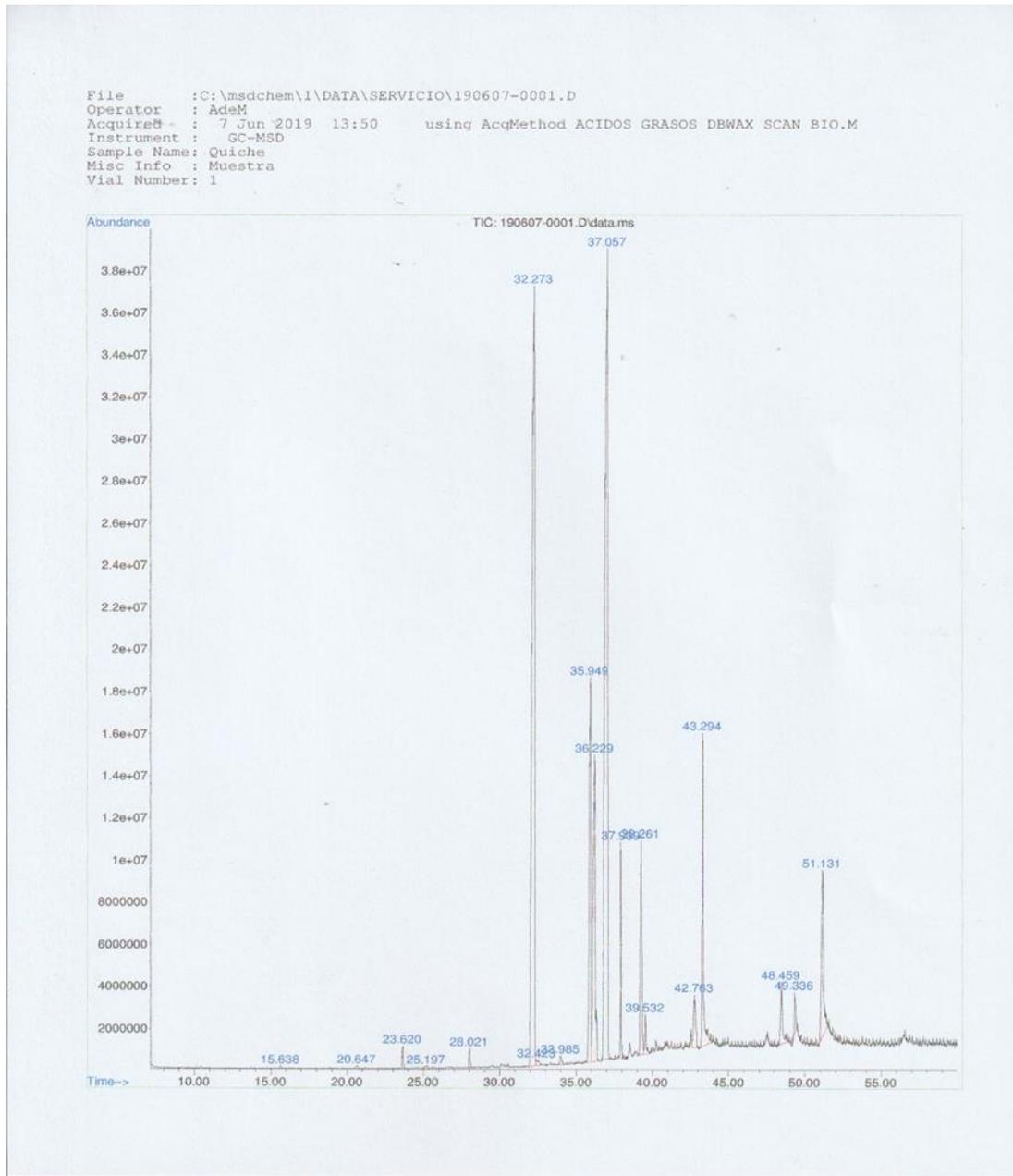
Search Libraries: C:\Database\NIST05a.L Minimum Quality: 0  
 Unknown Spectrum: Apex  
 Integration Events: ChemStation Integrator - acgrasos.e

PK#	RT	Area%	Library/ID	Ref#	CAS#	Qual
			(E)-9-Octadecenoic acid ethyl este	131091	006114-18-7	74
20	40.251	0.31	C:\Database\NIST05a.L 1,4,7,10,13,16-Hexaoxacyclooctadecane	100940	017455-13-9	83
			Octaethylene glycol	161142	1000289-34-2	58
			12-Crown-4	406670	000294-93-9	53
21	40.897	0.50	C:\Database\NIST05a.L 1,4,7,10,13,16-Hexaoxacyclooctadecane	100940	017455-13-9	55
			Decanoic acid, methyl ester	47245	000110-42-9	43
			Henecosanoic acid, methyl ester	147951	006064-90-0	42
22	41.866	0.38	C:\Database\NIST05a.L 1,4,7,10,13,16-Hexaoxacyclooctadecane	100940	017455-13-9	86
			Octaethylene glycol	161142	1000289-34-2	58
			15-Crown-5	70737	033100-27-5	52
23	42.757	2.80	C:\Database\NIST05a.L Docosanoic acid, methyl ester	154652	000929-77-1	99
			Docosanoic acid, methyl ester	154653	000929-77-1	98
			Docosanoic acid, methyl ester	154654	000929-77-1	96
24	43.276	1.01	C:\Database\NIST05a.L n-Hexadecanoic acid	96235	000057-10-3	99
			n-Hexadecanoic acid	96234	000057-10-3	98
			n-Hexadecanoic acid	96233	000057-10-3	93
25	47.570	0.95	C:\Database\NIST05a.L Tetracosanoic acid, methyl ester	165887	002442-49-1	86
			Tetracosanoic acid, methyl ester	165889	002442-49-1	86
			Tetracosanoic acid, methyl ester	165890	002442-49-1	68
26	51.095	0.78	C:\Database\NIST05a.L 3-Eicosyne	110848	061886-66-6	64
			9,12-Octadecadienoic acid (Z,Z)-(6Z)-Nonen-1-ol	111992	000060-33-3	64
				19231	035854-86-5	50

ACIDOS GRAS...X SCAN BIO.M Mon Jun 10 09:54:16 2019 Page: 3

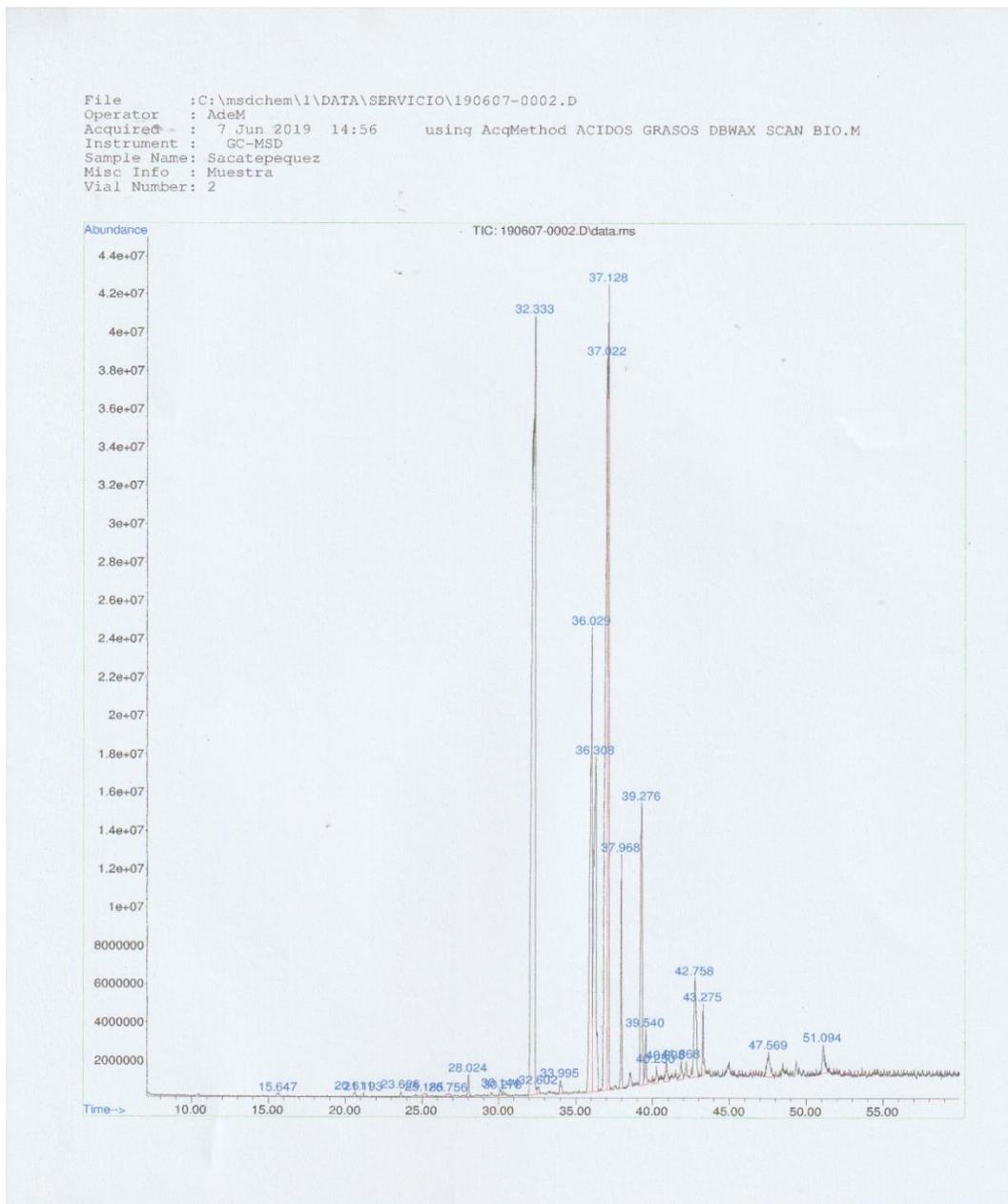
Fuente: Laboratorio de Instrumentación de Química Avanzada. Universidad del Valle de Guatemala.

Anexo 5. Diagrama cromatográfico de aceite fijo región de Quiché



Fuente: Laboratorio de Instrumentación de Química Avanzada. Universidad del Valle de Guatemala.

## Anexo 6. Diagrama cromatográfico de aceite fijo región de Sacatepéquez



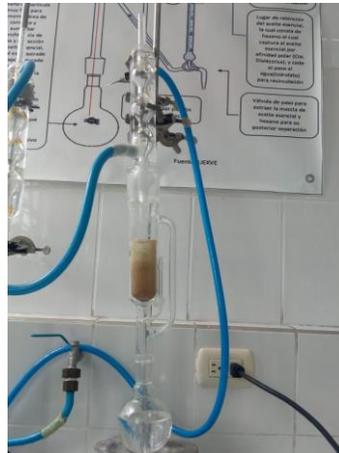
Fuente: Laboratorio de Instrumentación de Química Avanzada. Universidad del Valle de Guatemala.

## Anexo 7. **Pesada de materia prima**



Fuente: Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales. Facultad de Ingeniería.  
Universidad de San Carlos de Guatemala.

## Anexo 8. **Extractor Soxhlet en funcionamiento**



Fuente: Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales. Facultad de Ingeniería.  
Universidad de San Carlos de Guatemala.

**Anexo 9. Extracción del aceite fijo**



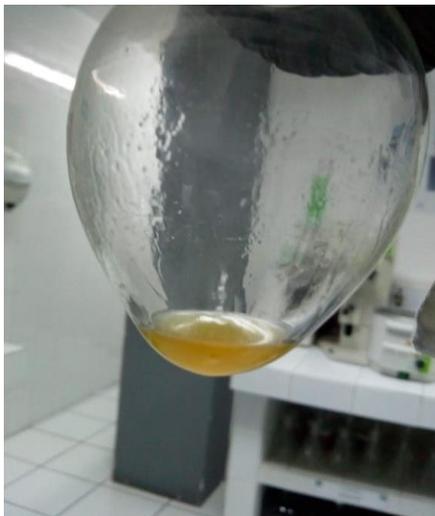
Fuente: Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales. Facultad de Ingeniería.  
Universidad de San Carlos de Guatemala.

**Anexo 10. Extracto de aceite fijo mezclado con solvente hexano**



Fuente: Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales. Facultad de Ingeniería.  
Universidad de San Carlos de Guatemala.

Anexo 11. **Extracto de aceite fijo concentrado**



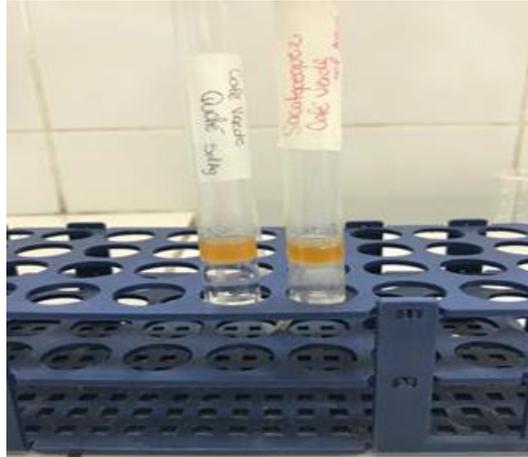
Fuente: Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales. Facultad de Ingeniería.  
Universidad de San Carlos de Guatemala.

Anexo 12. **Aceite fijo de café verde envasado**



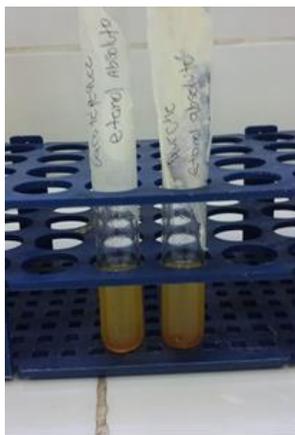
Fuente: Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales. Facultad de Ingeniería.  
Universidad de San Carlos de Guatemala.

Anexo 13. **Solubilidad de aceite fijo en agua regiones de Quiché y Sacatepéquez**



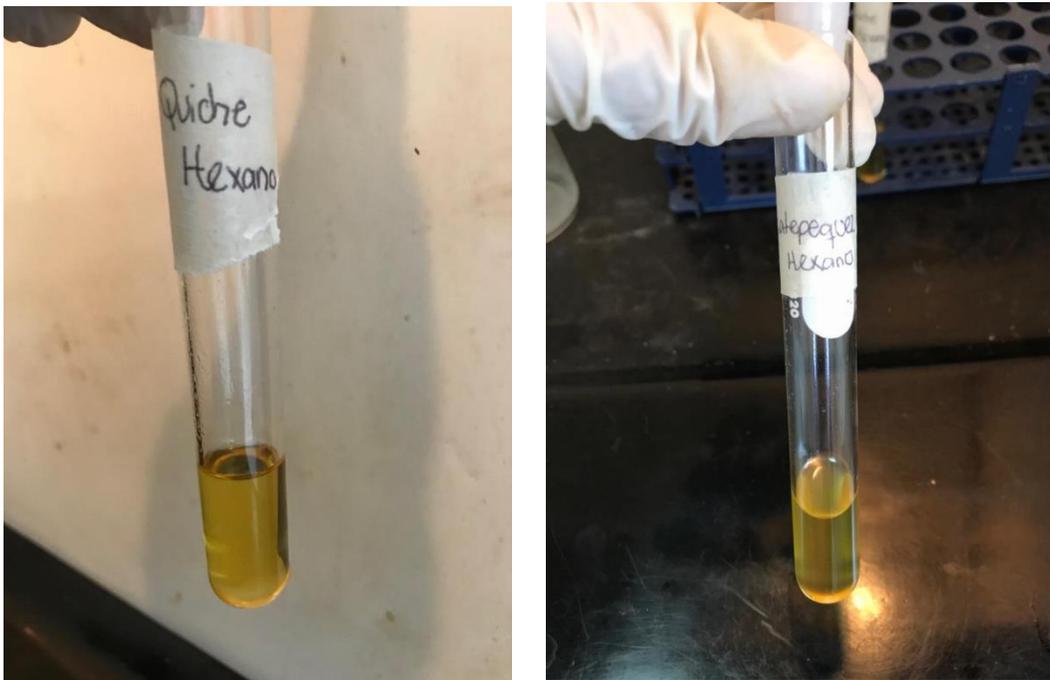
Fuente: Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales. Facultad de Ingeniería.  
Universidad de San Carlos de Guatemala.

Anexo 14. **Solubilidad de aceite fijo en etanol regiones de Quiché y Sacatepéquez**



Fuente: Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales. Facultad de Ingeniería.  
Universidad de San Carlos de Guatemala.

Anexo 15. **Solubilidad del aceite fijo en hexano regiones de Quiché y Sacatepéquez**



Fuente: Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales. Facultad de Ingeniería.  
Universidad de San Carlos de Guatemala.

