



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

**EVALUACIÓN DE LA RECUPERACIÓN DE FRACCIÓN LIPÍDICA PROVENIENTE
DEL RESIDUO SÓLIDO DE SOLUCIONES DE CAFÉ BEBIBLE, PROCEDENTES
DE EXPENDIOS DE CAFÉ EN TAZA Y PLANTA DE CAFÉ SOLUBLE**

Diana Gabriela del Rosario Jó Hernández

Asesorado por el Ing. César Alfonso García Guerra y

Coasesorado por el Ing. Mario José Mérida Meré

Guatemala, noviembre de 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**EVALUACIÓN DE LA RECUPERACIÓN DE FRACCIÓN LIPÍDICA PROVENIENTE
DEL RESIDUO SÓLIDO DE SOLUCIONES DE CAFÉ BEBIBLE, PROCEDENTES
DE EXPENDIOS DE CAFÉ EN TAZA Y PLANTA DE CAFÉ SOLUBLE**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

DIANA GABRIELA DEL ROSARIO JÓ HERNÁNDEZ
ASESORADO POR EL ING. CÉSAR ALFONSO GARCÍA GUERRA Y
COASESORADO POR EL ING. MARIO JOSÉ MERIDA MERÉ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERA QUÍMICA

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

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

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Renato Giovanni Ponciano Sandoval
EXAMINADOR	Ing. Williams Guillermo Álvarez Mejía
EXAMINADORA	Inga. Casta Petrona Zeceña Zeceña
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

**EVALUACIÓN DE LA RECUPERACIÓN DE FRACCIÓN LIPÍDICA PROVENIENTE
DEL RESIDUO SÓLIDO DE SOLUCIONES DE CAFÉ BEBIBLE, PROCEDENTES
DE EXPENDIOS DE CAFÉ EN TAZA Y PLANTA DE CAFÉ SOLUBLE**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha 25 de enero del 2013.



Diana Gabriela del Rosario J6 Hernández

Guatemala, 19 de Mayo de 2014

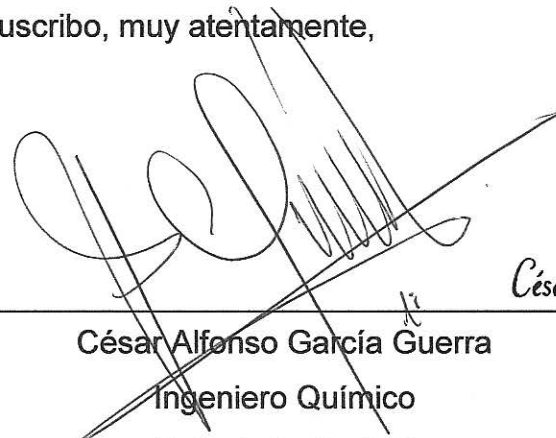
Ingeniero Químico
Víctor Manuel Monzón Valdez
Director Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala
Presente

Respetable Ingeniero Monzón:

Por medio de la presente hago constar que he revisado y dado mi aprobación al trabajo de graduación, titulado "EVALUACIÓN DE LA RECUPERACIÓN DE FRACCIÓN LIPÍDICA PROVENIENTE DEL RESIDUO SÓLIDO DE SOLUCIONES DE CAFÉ BEBIBLE PROCEDENTES DE EXPENDIOS DE CAFÉ EN TAZA Y PLANTA DE CAFÉ SOLUBLE" elaborado por la estudiante de Ingeniería Química Diana Gabriela del Rosario JÓ Hernández quien se identifica con carnet 200819354.

Por tal motivo extiendo la presente para que se continúe con los trámites respectivos

Sin otro particular, me suscribo, muy atentamente,



César Alfonso García Guerra
Ingeniero Químico
Colegiado No.145

César Alfonso García Guerra
INGENIERO QUIMICO
COLEGIADO No. 145



Guatemala, 11 de septiembre de 2014
Ref. EIQ.TG-IF.037.2014

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

Estimado Ingeniero Monzón:

Como consta en el registro de evaluación del informe final EIQ-PRO-REG-007 correlativo **002-2013** le informo que reunidos los Miembros de la Terna nombrada por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del:

INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADUACIÓN

Solicitado por la estudiante universitaria: **Diana Gabriela del Rosario Jó Hernández**.
Identificada con número de carné: **2008-19354**.
Previo a optar al título de **INGENIERA QUÍMICA**.


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

EVALUACIÓN DE LA RECUPERACIÓN DE FRACCIÓN LIPÍDICA PROVENIENTE DEL RESIDUO SÓLIDO DE SOLUCIONES DE CAFÉ BEBIBLE PROCEDENTES DE EXPENDIOS DE CAFÉ EN TAZA Y PLANTA DE CAFÉ SOLUBLE

El Trabajo de Graduación ha sido asesorado por el Ingeniero Químico: **César Alfonso García Guerra**.

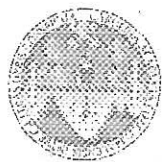
Habiendo encontrado el referido informe final del trabajo de graduación **SATISFACTORIO**, se autoriza al estudiante, proceder con los trámites requeridos de acuerdo a las normas y procedimientos establecidos por la Facultad para su autorización e impresión.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"


Inga. Hilda Piedad Palma de Martíni
COORDINADORA DE TERNA
Tribunal de Revisión
Trabajo de Graduación



C.c.: archivo



Ref.EIQ.TG.233.2014

El Director de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor y de los Miembros del Tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química para revisar el Informe del Trabajo de Graduación de la estudiante, **DIANA GABRIELA DEL ROSARIO JÓ HERNANDEZ** titulado: "EVALUACIÓN DE LA RECUPERACIÓN DE FRACCIÓN LIPÍDICA PROVENIENTE DEL RESIDUO SÓLIDO DE SOLUCIONES DE CAFÉ BEBIBLE, PROCEDENTES DE EXPENDIOS DE CAFÉ EN TAZA Y PLANTA DE CAFÉ SOLUBLE". Procede a la autorización del mismo, ya que reúne el rigor, la secuencia, la pertinencia y la coherencia metodológica requerida.

Ing. Victor Manuel Monzón Valdez
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química



Guatemala, octubre 2014

Cc: Archivo
VMMV/ale



Universidad de San Carlos
de Guatemala



Facultad de Ingeniería
Decanato

DTG. 597.2014

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al Trabajo de Graduación titulado: **EVALUACIÓN DE LA RECUPERACIÓN DE FRACCIÓN LIPÍDICA PROVENIENTE DEL RESIDUO SÓLIDO DE SOLUCIONES DE CAFÉ BEBIBLE, PROCEDENTES DE EXPENDIOS DE CAFÉ EN TAZA Y PLANTA DE CAFÉ SOLUBLE**, presentado por la estudiante universitaria **Diana Gabriela del Rosario Jó Hernández**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
Decano en Funciones



Guatemala, 5 de noviembre de 2014

/gdech

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por ayudarme en momentos difíciles y enseñarme a nunca rendirme, por darme fuerza cuando más la necesito.
- Virgen María** Por darme su apoyo, protección y cuidado incondicional.
- San Judas Tadeo** Por ayudarme a no caer en momentos difíciles, por el apoyo a mi familia y demostrarnos que con fe todo es posible.
- Mi madre** Evelyn Hernández, por siempre estar a mi lado, su apoyo moral, espiritual y físico. Por su amor y fortaleza y ser mi ejemplo a seguir. Por enseñarme a ser una persona fuerte y luchadora.
- Mi padre** Raúl Jó, por darme la oportunidad de estudiar, por sus consejos y apoyo. Por enseñarme que todo esfuerzo tiene su recompensa y a nunca desistir. Por ser la persona que más admiro.

Mi hermano

Raúl J6, por su apoyo y amor. Por darme su ayuda cuando lo necesito y confiar en m6. Por darme ejemplo de seguridad y creer en uno mismo

Mi hermano

Sebasti6n J6, por darme tanto cari6o y siempre estar pendiente de m6. Por demostrarme que siempre desea lo mejor para m6.

Abuela

Josefina Salvatierra, por sus oraciones, consejos y ayuda. Por quererme tanto y desearme lo mejor.

Abuelos

Elvia Way y Ra6l J6, por demostrarme su apoyo y estar siempre al pendiente en todo momento.

Mi familia

T6os y primos que han contribuido a mi logro. Por su apoyo y cari6o demostrado.

Mis amigos

Por ayudarme durante el ciclo estudiantil, por las vivencias inolvidables durante estos 6ltimos a6os y por el apoyo brindado.

AGRADECIMIENTOS A:

Dios	Por darme la oportunidad de estudiar, por mi familia y tanta bendición en mi vida.
Mis padres	Por forjar la persona quien soy actualmente, por enseñarme a valorar lo que tenemos y por brindarme el amor más puro e incondicional.
Mis hermanos	Por su apoyo y estar al pendiente de mí siempre.
Mi abuela	Josefina, por ser como una segunda madre para mí, por su crianza y su amor. Por su apoyo y sus oraciones, por siempre creer en mí.
Eddy Viana	Por ser una persona muy importante en mi vida, por ser incondicional en todos los aspectos, brindarme su apoyo y consejos.
Amigos de la Facultad	Por las vivencias inolvidables durante nuestra formación. Por su confianza, apoyo, su ayuda y su amistad
Amigas del colegio	Por brindarme su cariño y apoyo sincero que, a pesar de los años todavía persiste.

Mi asesor

Ing. César García, por su ayuda, sus conocimientos y asesoría brindada en el presente trabajo. Por su interés en desarrollar el tema y creer posible la ejecución del mismo.

Coasesor

Ing. Mario Mérida, por brindarme su apoyo en el presente trabajo, por darme la disponibilidad del laboratorio y compartir sus conocimientos y asesoría brindada.

Laboratorio de Investigación Extractos Vegetales (LIEXVE)

Por dejarme realizar la experimentación del presente trabajo.

Universidad de San Carlos de Guatemala

Por permitir mi formación y educación en los últimos años. Por brindarme los fundamentos necesarios para forjar mi profesión con responsabilidad y compromiso.

Laboratorio de Físicoquímica fabricante de aceites comestibles

Por permitirme realizar las pruebas físicoquímicas a mis muestras, especialmente al Ing. Alexander Gómez, por el apoyo desinteresado brindado e Ing. Castañeda.

Laboratorio de una reconocida empresa, fabricante de tintas para impresión

Por permitirme realizar pruebas de color a mis muestras, especialmente al Ing. Luis Orozco, Inga. Carol Theissen e Inga. Brenda Barrios.

Planta industrial de café soluble

Por brindarme materia prima y apoyo brindado, especialmente al Ing. Javier Muralles e Ing. Sergio Torres.

Asociación Nacional del Café

Por brindarme materia prima, el apoyo, conocimientos y disponibilidad de ayuda durante la investigación. Especialmente al Ing. Humberto Jiménez e Inga. Doris Vega.

Facultad de Farmacia de Universidad de San Carlos de Guatemala

Por brindarme su ayuda desinteresada en la elaboración de pastillas a partir del residuo sólido de café. Especialmente al Laboratorio Fisicoquímica.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	VII
LISTA DE SÍMBOLOS	XI
GLOSARIO	XIII
RESUMEN.....	XVII
OBJETIVOS.....	XIX
Hipótesis	XX
INTRODUCCIÓN	XXI
1. ANTECEDENTES	1
2. MARCO TEÓRICO.....	5
2.1. Historia del café en Guatemala	5
2.2. El ciclo de producción de café	6
2.2.1. Cultivo.....	6
2.2.2. Recolección	7
2.2.3. El beneficio	8
2.2.4. Despulpado.....	9
2.2.5. Fermentación.....	9
2.2.6. Lavado	10
2.2.7. Secado	10
2.2.8. Clasificación.....	11
2.2.9. Empaquetamiento y transporte.....	11
2.2.10. Contaminación.....	12
2.3. Subproductos	12
2.3.1. Beneficios húmedos ecológicos.....	13

2.3.2.	Cascabillo de café	14
2.4.	Variedades de café	14
2.4.1.	Altitud y microclimas.....	14
2.5.	Tostado de café	17
2.5.1.	La torrefacción de café	18
2.5.1.1.	Variables básicas del tueste.....	19
2.5.1.1.1.	Tiempo	19
2.5.1.1.2.	Temperatura.....	19
2.5.1.1.3.	Molido y filtración	21
2.6.	Desecho de café	22
2.6.1.	Nombre común.....	22
2.6.2.	Definición.....	22
2.6.3.	Materia prima	23
2.6.3.1.	Recolección.....	23
2.6.3.1.1.	Café espresso	25
2.6.3.1.2.	Café percolado.....	26
2.6.3.2.	Almacenamiento.....	26
2.6.3.3.	Secado	26
2.6.3.4.	Trituradora.....	27
2.6.3.5.	Molienda.....	27
2.6.3.6.	Tamizado.....	27
2.7.	Aceites fijos	27
2.7.1.	Lípidos.....	28
2.7.1.1.	Clasificación de los lípidos	28
2.7.1.1.1.	Lípidos saponificables...28	
2.7.1.1.2.	Ácidos grasos.....28	
2.7.1.1.3.	Ácidos grasos saturados	29

	2.7.1.1.4.	Ácidos grasos insaturados.....	31
	2.7.1.1.5.	Derivados de los ácidos grasos	32
	2.7.1.1.6.	Lípidos insaponificables	35
2.8.		Composición de la fracción lipídica de café.....	38
	2.8.1.	Cafestol y kahweol.....	39
2.9.		Composición del grano de café	41
	2.9.1.	Humedad	41
	2.9.2.	Celulosa bruta.....	42
	2.9.3.	Materias grasas	42
	2.9.3.1.	Materias grasas contenidas en el residuo de café	43
	2.9.4.	Azúcares.....	44
	2.9.5.	Cafeína	44
	2.9.6.	Ácido clorogénico	44
	2.9.7.	Trigonelina y ácido nicotínico.....	45
	2.9.8.	Minerales	45
	2.9.9.	Otros.....	46
2.10.		¿Qué sucede con los almidones contenidos en el grano de café?.....	47
2.11.		Contenido químico de una taza de café	48
2.12.		Usos de la fracción lipídica de café	49
	2.12.1.	Clarificación de la fracción lipídica del café	50
	2.12.1.1.	Agitación	50
	2.12.1.2.	Filtración por vacío	50
	2.12.1.3.	Destilación al vacío.....	51
2.13.		Extracción.....	51

2.13.1.	Procesos de extracción	52
2.13.1.1.	Extracción sólido-líquido.....	52
2.13.1.1.1.	Maceración.....	57
2.13.1.2.	Percolación.....	58
2.13.1.3.	Lixiviación.....	58
2.13.1.4.	Extracción soxhlet	59
2.13.2.	Variables del proceso de extracción.....	60
2.13.2.1.	Tamaño de la materia prima.....	61
2.13.2.1.1.	Porosidad del grano de café	61
2.13.2.2.	Tiempo de extracción	61
2.13.2.3.	Agitación.....	62
2.13.2.4.	Naturaleza del solvente	62
2.13.2.5.	Temperatura.....	62
2.13.2.6.	Monitoreo del proceso.....	62
2.14.	Características físicas y químicas de los reactivos a usar	63
2.14.1.	Solventes.....	63
2.14.2.	Propiedades físicas	64
2.14.3.	Adsorbente	64
2.14.3.1.	Carbón activado	64
2.14.3.2.	Clasificación del carbón	67
2.15.	Métodos cromatográficos	68
2.15.1.	Cromatografía gaseosa	68
2.16.	Índices de calidad	70
2.16.1.	Determinación de color.....	70
2.16.1.1.	Método C I E L*a*b*	70
2.16.1.1.1.	Parámetros.....	71
2.17.	Perfil de ácidos grasos e índices de calidad a partir de la fracción lipídica de grano tostado de café genuino antigua.....	72

3.	DISEÑO METODOLÓGICO	77
3.1.	Variables.....	77
3.2.	Delimitación de campo de estudio	80
3.3.	Recursos humanos disponibles.....	81
3.4.	Recursos materiales disponibles	81
3.5.	Técnica cualitativa o cuantitativa	98
3.5.1.	Diseño general.....	99
3.6.	Recolección y ordenamiento de la información	101
3.6.1.	Recolección de materia prima	101
3.6.2.	Preparación de materia prima para extracción	101
3.6.3.	Extracción de fracción lipídica	102
3.6.4.	Clarificación de fracción lipídica obtenida.....	103
3.6.5.	Determinación de color	104
3.6.6.	Determinación de perfil de ácidos grasos.....	105
3.6.7.	Determinación de índices de calidad.....	106
3.7.	Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información	120
3.8.	Análisis estadístico	123
3.8.1.	Media.....	123
3.8.2.	Medidas de dispersión.....	124
3.8.2.1.	Desviación estándar	124
3.8.2.2.	Varianza	124
3.8.3.	Análisis de varianza.....	125
3.8.4.	Uso de la prueba F en el ANOVA.....	125
3.8.4.1.	Distribución F.....	125
3.8.4.2.	Razón F para probar la igualdad de las medias.....	126
4.	RESULTADOS	129

5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	135
CONCLUSIONES.....	147
RECOMENDACIONES	149
BIBLIOGRAFÍA.....	151
APÉNDICES.....	155
ANEXOS.....	187

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Recolección de café cereza	8
2.	Secado de café	11
3.	Desecho de café espresso	24
4.	Desecho de planta de café soluble	24
5.	Máquina de café espresso	25
6.	Estructura de kahweol (1) y cafestol (2)	40
7.	Características químicas y reacciones del café al combinarse con agua caliente	49
8.	Diagrama ternario extracción sólido-líquido	55
9.	Diagrama de equilibrio (triángulo rectángulo)	57
10.	Equipo de extracción soxhlet	60
11.	Carbón activado	66
12.	Modelo C I E L*a*b*	71
13.	Modelo de color C I E L*a*b*	72
14.	Secador de bandejas de flujo transversal	82
15.	Set de tamices	83
16.	Trituradora	83
17.	Equipo de extracción soxhlet	84
18.	Balanza de humedad	85
19.	Platos para balanza	86
20.	Bomba de vacío	87
21.	Equipo de destilación al vacío	87
22.	Mufla	88

23.	Desecador	89
24.	Espectrofotómetro.....	90
25.	Diseño general de procedimiento	99
26.	Diseño de procedimiento	100

TABLAS

I.	Tipos de café de Guatemala.....	16
II.	Características de las variedades del café de Guatemala	17
III.	Características del tueste respecto su temperatura.....	20
IV.	Grado de tueste de grano de café	21
V.	Datos generales de cafestol y kahweol	41
VI.	Ácidos grasos del aceite de café arábigo de Brasil	42
VII.	Materias grasas totales despojadas de ceras (café de Brasil).....	43
VIII.	Composición química de la semilla de café	46
IX.	Índices de calidad a fracción lipídica de café obtenida de café genuino antigua.....	73
X.	Ácidos grasos saturados determinados experimentalmente al aceite de café tipo genuino antigua	74
XI.	Ácidos grasos monoinsaturados determinados experimentalmente al aceite de café genuino antigua	74
XII.	Ácidos grasos poliinsaturados determinados experimentalmente al aceite de café genuino antigua	75
XIII.	Total de ácidos presentes determinados experimentalmente al aceite de café genuino antigua	75
XIV.	Variables dependientes	78
XV.	Variables independientes	78
XVI.	Variables dependientes	79
XVII.	Variables independientes	79

XVIII.	Parámetros de índices DOBI.....	111
XIX.	Fracción lipídica fluida durante la extracción con hexano	120
XX.	Rendimiento y clarificación de fracción lipídica	120
XXI.	Ácidos grasos saturados, monoinsaturados y poliinsaturados.....	121
XXII.	Porcentaje total de ácidos grasos	122
XXIII.	Índices de calidad a la fracción lipídica del residuo sólido de café...	122
XXIV.	Análisis de varianza del ANOVA para un solo factor	127
XXV.	Tres medidas importantes de variabilidad.....	127
XXVI.	Resumen.....	128
XXVII.	Análisis de varianza	128
XXVIII.	Porcentaje de rendimiento de extracción total de la fracción lipídica clarificada del sólido residual, proveniente de la fabricación de café tipo espresso del expendio de café bebible y una planta de café soluble utilizando la técnica soxhlet	129
XXIX.	Grado de decoloración por el método C I E L*a*b* de la fracción lipídica extractable de mayor rendimiento del sólido residual, proveniente de la fabricación de café tipo espresso del expendio de café bebible y una planta de café soluble mediante el uso de carbón activado en función de las variables de tiempo (20, 40 min), número de ciclos (1 2), temperatura (35, 45 °C) y agitación (200, 400 RPM).....	130
XXX.	Grado de decoloración por el método C I E L*a*b* de la muestra de residuo sólido de las 4 fuentes utilizadas.....	131
XXXI.	Grado de decoloración de la fracción lipídica extractable de mayor rendimiento del sólido residual, proveniente de la fabricación de café tipo espresso del expendio de café bebible.....	131
XXXII.	Grado de decoloración de la fracción lipídica extractable de mayor rendimiento del sólido residual, proveniente de una planta de café soluble.....	132

XXXIII.	Perfil de ácidos grasos de la fracción lipídica clarificada de mayor rendimiento del sólido residual, proveniente de la fabricación de café tipo espresso del expendio de café bebible y una planta de café soluble.....	132
XXXIV.	Perfil de ácidos grasos saturados, monoinsaturados, poliinsaturados y sin identificar de una fuente de restaurante y planta de café bebible.....	133
XXXV.	Índices de calidad de la fracción lipídica clarificada de mayor rendimiento del sólido residual, proveniente de la fabricación de café tipo espresso del expendio de café bebible y una planta de café soluble.....	133

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
ρ	Densidad
$^{\circ}\text{C}$	Grado Celsius
g	Gramo
h	Hora
λ	Longitud de onda
meq	Miliequivalente
mg	Miligramo
mL	Mililitro
mm	Milímetro
min	Minuto
nm	Nanómetro
N	Normal
ppm	Partes por millón
%	Porcentaje
rpm	Revoluciones por minuto
T	Temperatura
θ	Tiempo

GLOSARIO

Absorbancia	Cuando un haz de luz incide sobre un cuerpo traslúcido, una parte de esta luz es absorbida por el cuerpo, y el haz de luz restante atraviesa dicho cuerpo. A mayor cantidad de luz absorbida, mayor será la absorbancia del cuerpo, y menor cantidad de luz será transmitida por dicho cuerpo.
Adsorción	Separación de líquidos, gases, coloide o materia suspendida en un medio por adherencia a la superficie o a los poros de un sólido.
Aposición	Colocación de elementos en estrecha proximidad.
Café liofilizado	Producto soluble obtenido a través de un sofisticado proceso denominado liofilización. Su principal característica es que al entrar en contacto con el agua, el café libera todos sus componentes aromáticos y mantiene la misma calidad que tenía antes de ser liofilizado. Por lo tanto, es la liofilización el proceso que más valor agrega al café, brindando un excelente perfil en taza por su sabor, aroma y balance.

Compuesto covalente Se forman cuando se combinan dos o más no metales. Son malos conductores de calor y electricidad. Cuando se disuelven en agua, la mayoría no forma iones. Tienen densidades, puntos de fusión y de ebullición menor.

Emulsión Sistema de dos fases que consta de dos líquidos parcialmente miscibles, uno de los cuales es dispersado en el otro en forma de glóbulos. La fase dispersa, discontinua o interna es el líquido desintegrado en glóbulos. El líquido circundante es la fase continua o externa.

Enranciamiento Describe los diferentes mecanismos a través de los cuales se alteran los lípidos. Las grasas y los aceites son susceptibles a diferentes reacciones de deterioro que generan compuestos volátiles que producen olores y sabores característicos, a veces algo desagradables, y que también pueden reducir el valor nutritivo de esos alimentos. Las reacciones pueden ser de dos tipos: por un lado, el enlace de los triacilgliceroles puede sufrir hidrólisis química o enzimática y, por otro, los ácidos grasos insaturados pueden sufrir procesos oxidativos.

Extracto Sustancia obtenida por extracción de una materia prima, a menudo usando un solvente.

Índices de calidad	Se define la calidad de un aceite mediante medición de parámetros químicos y aspectos sensoriales que permiten estimar la calidad del aceite. También se necesita realizar un perfil cromatográfico.
Mesh	El parámetro que comúnmente se utiliza para evaluar la capacidad de retención del filtro. Se define como el número de orificios por pulgada lineal, contados a partir del centro de un hilo. (Número de orificios).
Modelo C I E L*a*b*	Modelo cromático usado normalmente para describir todos los colores que puede percibir el ojo humano. Está construido matemáticamente para ser utilizado como un sistema de referencia para establecer coherencias entre otros sistemas de color.
Molécula anfipática	Hace referencia a una estructura molecular que contiene dos propiedades, una hidrofílica y otra hidrofóbica.
Molécula hidrofílica	Moléculas polares que pueden asociarse alrededor de iones y de otras moléculas polares. Las moléculas que pueden formar enlaces de hidrógeno con el agua se denominan hidrofílicas y son solubles en el agua.
Molécula hidrofóbica	Moléculas no polares puesto que estas no se disuelven en agua y se caracterizan como hidrofóbicas (que odian el agua, en griego).

Pirólisis	Consiste en la descomposición térmica de la materia orgánica en ausencia de oxígeno u otros agentes gasificantes generándose cantidades variables de gases, alquitranes, aceites y residuo carbonoso.
Torrefacción	Operación en la cual son formados, bajo la acción del calor, los principios aromáticos que no existen previamente, en su mayoría, en la semilla del café. Consiste en calentar los granos a una temperatura que provoque modificaciones químicas, físicas y físico-químicas que hace que de éstos se pueda obtener una infusión cuyas cualidades sean satisfactorias.
Transesterificación	Proceso químico a través del cual aceites se combinan con alcohol (etanol o metanol) para generar una reacción que produce ésteres grasos como el etil o metilo éster. Estos pueden ser mezclados con diésel o usados directamente como combustibles en motores comunes.

RESUMEN

El siguiente trabajo de investigación presenta el estudio sobre los extractos obtenidos de fracción lipídica a partir del residuo sólido de café. La falta de uso de este residuo sólido ha provocado el evaluar la factibilidad de que, esta fracción lipídica obtenida, pueda utilizarse más adelante en aplicaciones para la industria.

El objetivo principal fue evaluar el rendimiento de la fracción lipídica de cuatro fuentes de residuo de café mediante la técnica soxhlet. Como objetivos específicos se caracterizó el extracto lipídico por medio de los índices de calidad para aceites, se determinaron los ácidos grasos que componen a la fracción lipídica mediante una cromatografía de gases y se evaluó el grado de decoloración con carbón activado. La metodología se dividió en dos fases: la extracción sólido-líquido de la fracción lipídica y la clarificación de la fracción lipídica de café para su posterior evaluación y caracterización.

Asimismo se evaluaron distintas variables, tales como: el tiempo, ciclos y revoluciones por minuto. Se logró demostrar que fue posible la obtención de la fracción lipídica a partir de residuo sólido de café. Fue posible analizar su perfil de ácidos grasos ricos en ácidos monoinsaturados y poliinsaturados; los índices de calidad que caracterizan a la fracción lipídica, y se lograron establecer las coordenadas determinantes de decoloración mediante el modelo $CIE L^*a^*b^*$. Se establecieron las diferencias entre las dos fuentes de materia prima utilizadas según los análisis realizados. La finalidad del presente estudio es iniciar investigaciones a partir de la fracción lipídica de café para posteriores aplicaciones.

OBJETIVOS

General

Evaluar el rendimiento de la fracción lipídica extractable de residuo sólido de café bebible, mediante la técnica soxhlet y su caracterización fisicoquímica y evaluación del grado de decoloración con carbón activado a escala de laboratorio.

Específicos

1. Evaluar el porcentaje de rendimiento de extracción total de la fracción lipídica clarificada del sólido residual, provenientes de la fabricación de café tipo espresso del expendio de café bebible y una planta de café soluble utilizando la técnica soxhlet.
2. Determinar el grado de decoloración por el método $CIE\ L^*a^*b^*$ de la fracción lipídica extractable de mayor rendimiento del sólido residual, proveniente de la fabricación de café tipo espresso del expendio de café bebible y una planta de café soluble, mediante el uso de carbón activado en función de las variables de tiempo (20, 40 min), número de ciclos (1 2), temperatura (35, 45 °C) y agitación (200, 400 RPM).
3. Determinar el perfil de ácidos grasos de la fracción lipídica clarificada de mayor rendimiento del sólido residual, provenientes de la fabricación de café tipo espresso del expendio de café bebible y una planta de café soluble.

4. Determinar los índices de calidad (acidez, yodo, saponificación, peróxidos) de la fracción lipídica clarificada de mayor rendimiento del sólido residual, proveniente de la fabricación de café tipo espresso del expendio de café bebible y una planta industrial de café soluble.

Hipótesis

Es posible realizar la extracción y clarificación de la fracción lipídica proveniente del residuo sólido espresso del expendio de café bebible y residuo sólido de café para obtención de café soluble.

Hipótesis nula:

No existe diferencia significativa en el porcentaje de rendimiento obtenido por la técnica soxhlet de la fracción lipídica, proveniente del sólido residual del expendio de café bebible espresso y de una planta industrial de café soluble.

$$H_0: \mu_1 = \mu_2$$

Hipótesis alternativa:

Existe diferencia significativa en el porcentaje de rendimiento obtenido por la técnica soxhlet de la fracción lipídica del sólido residual del expendio de café bebible espresso y de una planta industrial de café soluble.

$$H_a: \mu_1 \neq \mu_2$$

INTRODUCCIÓN

La falta de reutilización de residuos ha generado gran cantidad de desechos y contaminación al ambiente. La siguiente investigación presenta el estudio sobre los extractos obtenidos de fracción lipídica a partir del residuo sólido de café. El cual no se le ha encontrado algún tipo de aplicación industrial a nivel nacional.

Prensa Libre publicó en enero del 2011, que el dato más reciente de la Asociación Nacional del Café (Anacafé) indica que el consumo por persona es tan solo de 138 tazas al año, pero según expertos existe una creciente masa de consumidores, especialmente jóvenes que cambiarán el panorama a mediano plazo. Se espera que la demanda a escala nacional creará mayor sostenibilidad para toda la industria y no dependerá únicamente de las exportaciones, por lo que se tendrá un mercado local que cada vez sea más exigente.

El libro: *Los cafés especiales en Centroamérica* comenta sobre el mercado mundial del café en los últimos años, se ha incrementado la demanda en términos generales, debido a que el consumidor exige mejor calidad en taza, han emergido con fuerza nuevos países consumidores mientras en los mercados tradicionales aumenta el total de consumidores, las cafeterías muestran un crecimiento constante, se consume mejor calidad de café en los países productores y los precios muestran una tendencia positiva, lenta pero constante.

Las estadísticas indican que la población de Guatemala, actualmente, consume en mayor cantidad el café, y por lo tanto el residuo de café se

incrementa. Pero ¿qué sucede con el residuo una vez desechado por los restaurantes?, generalmente se acumula como basura.

Estudios han publicado que el residuo sólido de café se ha empleado como adsorbente de colorantes y metales pesados, se ha utilizado como una fuente nueva para generar biocombustible, empleado para producir jabones (por la cantidad de ceras que se encuentran en el residuo) e incluso como filtro solar por la cantidad de cafestol y kahweol (dos compuestos insaturados diterpénicos que se encuentran en el residuo de café). El residuo de café contiene gran cantidad de ácidos grasos lo que facilita la obtención de su fracción lipídica, hasta un rendimiento de 12 por ciento lo cual la hace viable para aplicaciones en la industria.

Las aplicaciones del residuo de café, mencionadas anteriormente, se han realizado a nivel internacional, por ello la presente investigación se orienta a evaluar la caracterización de la fracción lipídica de café obtenida de residuos sólidos de café guatemalteco y de esta manera determinar si es viable para futuras aplicaciones en la industria. Es necesario resaltar que Guatemala está catalogado entre los 10 países con mayor exportación de café, por lo tanto existe gran posibilidad que los resultados sobrepasen la expectativa de sus propios investigadores.

1. ANTECEDENTES

Recientemente se han realizado estudios sobre usos y aplicaciones del residuo sólido de café a nivel internacional. Sin embargo, a nivel nacional no existen investigaciones sobre el residuo de café guatemalteco, para posibles aplicaciones escala industrial y/o laboratorio como producto en la industria.

Para el presente estudio se hacen referencia a investigaciones relacionadas a posibles aplicaciones de aceite de café.

En el 2011 se realizó un estudio de la Universidad Kwangwoon Korea sobre el potencial de los granos sólidos del residuo de café como biosorbente para remoción de un colorante en soluciones acuosas. Donde se describe el procedimiento que llevaron los granos sólidos de café, tal como mediciones de pH para monitoreo del grano y la elaboración de isothermas como Lagmuir y Freundlich para monitorear la adsorción por medio de tiempo.

En el 2011, Deligiannis A. Papazafeiropoulou A. Anastopoulos G. Zannikos F. de Universidad Nacional Técnica de Atenas, Grecia realizaron una investigación sobre la producción de biodiesel a partir del residuo sólido de café. Este fue recolectado de casas, el objetivo de la empresa fue demostrar una nueva alternativa de bajo costo para producción de biodiesel. El estudio demuestra que el aceite de café producido tiene mayor estabilidad de oxidación en comparación con otras fuentes de aceites para biodiesel.

En 2011, Chaiyan Chaiya, del Congreso Mundial de Ingeniería y Ciencia Computarizada (Proceedings of the World Congresson Engineering and

Computer Science) realizó un estudio sobre la producción de aceite pirolizado a partir del residuo sólido de café de Tailandia, proveniente del proceso de producción instantáneo. La investigación consistió en identificar las condiciones en las cuales era posible producir mayor cantidad de aceite utilizando como variables: el tamaño de partícula del café, alimentación de nitrógeno y la temperatura de la pirolisis. Del aceite obtenido se evaluaron propiedades tales como; viscosidad cSt., pH, flash point, entre otros. Se realizó un análisis donde se describe el porcentaje de carbono, hidrógeno y oxígeno del mismo.

El aceite se obtuvo a partir de un reactor diseñado que se alimenta con nitrógeno, donde se quema el residuo sólido de café, dando como resultado producto gaseoso, el cual se condensa mediante un condensador y el producto es el aceite pirolizable. Este procedimiento, también produce otros subproductos como el alquitrán y carbón.

Se encontraron patentes de distintas aplicaciones del residuo de café en la que se mencionan las siguientes:

En 1975, Clinton William P. Johnson Joe, Meyer Franklyn, Pfluger Richard y Jacobs Gerald patentaron un procedimiento para producir café liofilizado aromatizado, donde se describe la forma de obtener el aceite a partir de café tostado y luego clarificarlo mediante un filtro de presión comercial, después la patente describe la manera de almacenar el aceite clarificado a 10 grados Fahrenheit para su uso posterior.

En 1980, Dteffenbacher patentó un procedimiento para la Sociedad de Productos Nestle S. A. en Vevey Suiza, para obtener aceite de café mejorado. El procedimiento consiste, particularmente en su desterpenización. La patente menciona que la mayor parte de aceite se encuentra en los posos del café, una

vez que los sólidos solubles pasan al líquido de extracción y luego se destila por vapor dejando a los posos consumidos. Estos extractos de café pueden usarse como emulsión para aromatizar café soluble mediante rociado. La patente describe la forma de extraer cafestol del aceite para su uso comestible y su refinación mediante el contacto con un alcohol alifático monohídrico.

En 1988, Grollier F. Jean y Plessis Sophie publicaron, en la patente Número 4793990, procedimiento para L'Oreal, París Francia, que el aceite de café se puede incorporar a tratamientos de cremas para la epidermis como filtros solares con una longitud de onda de 280 a 320 nanómetros, maquillaje como bases, *lipsticks*, brillo para uñas y emulsiones de fase acuosa para piel. Puede usarse en shampoo y lociones, jabones y productos para baños. Se puede presentar en forma de solución, loción, emulsión, crema, gel y espuma agregándose como adyuvante cosmético. Se menciona a la destilación molecular como método de extracción.

Se realizó un trabajo de graduación sobre el aceite de café, el cual se menciona a continuación:

En el 2008, Lourdes María Ramírez Ovalle realizó el trabajo de graduación en la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala sobre la evaluación del rendimiento de extracción y caracterización del aceite fijo de café tipo Genuino Antigua, obtenido por el proceso de prensado, en donde se compara el rendimiento de extracción utilizando la técnica soxhlet y prensado con el grado de tueste de los granos. El grado de tueste de los granos son de tostado oscuro y livianos.

En el trabajo de graduación, también determinó sus propiedades físicas como: la viscosidad, densidad, solubilidad, índice de acidez, yodo y

saponificación entre otros. En la investigación se determinó la composición del aceite mediante cromatografía de gases y espectrometría de masas.

Como se evidencia en las investigaciones y patentes anteriores, el método comúnmente utilizado para la extracción de la fracción lipídica se realiza con un solvente orgánico. Se desconoce la metodología específica, por lo que, este aspecto es un factor a considerar en el presente estudio. Por lo anterior expuesto se plantean varias aplicaciones que se han ido descubriendo a través del tiempo y que podrá considerarse estudio del uso posible a los extractos obtenidos con el residuo sólido del café guatemalteco.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Historia del café en Guatemala

Según el libro: *Los cafés especiales en Centroamérica*, el café es el segundo producto más comercializado en el mundo entero después del petróleo.

En 1773 llegaron las primeras plantas de café a Guatemala, como resultado de una iniciativa desarrollada por sacerdotes jesuitas.

En 1867, el café guatemalteco participó por primera vez en un evento internacional, la Exhibición Internacional de París, y en 1888 ganó el primer lugar de Exhibición Mundial de París, alcanzando sus mayores niveles de producción debido a una alta cotización en el mercado internacional.

En 1915, el café guatemalteco nuevamente es galardonado, obteniendo el primer lugar en la Exposición de San Francisco.

Los cafés que se producen en Guatemala se clasifican como: arábigos lavados, produciéndose en todos sus departamentos, tienen diferentes características por la altitud, tipo de suelo, temperatura, nubosidad y régimen de la región donde se cultivan.

Esto afecta las características del grano de café en tamaño, estructura y consistencia, causando calidades que, además de ser distintas, son diferenciables entre sí. Esta regionalización natural única produce varios tipos

exclusivos de café. Entre los más conocidos se encuentran: Fraijanes, Cobán, Huehuetenango, Atitlán y Antigua, este último constituye un tipo de café reconocido internacionalmente, que es objeto de un sobreprecio en los mercados *gourmet*.

El café Geniuno Antigua es de origen volcánico, son jóvenes y presentan condiciones óptimas de fertilidad para el grano, algunos expertos nacionales y extranjeros consideran que es uno de los cafés más finos que se producen en el mundo. Tradicionalmente se cultiva bajo la sombra de otros árboles, que ayudan a la preservación del medio ambiente

“En Guatemala crecen más de 800 millones de cafetos, los cuales están diseminados en 262 500 hectáreas de terreno. A su vez, estas plantas de café reciben la sombra que proporcionan cerca de 38 millones de árboles de especies tales como: el caspirol, el cuje, el cuchín, etc.”¹

2.2. El ciclo de producción de café

Para obtener un grano de café de calidad es necesario controlar desde su cultivo, recolección, despulpado, fermentación, lavado, secado, clasificación, empaquetamiento y transporte, lo cual conforman el ciclo de producción de café.

2.2.1. Cultivo

El mejor café crece en suelo de origen volcánico entre los 1 000 y 1 500 metros sobre el nivel del mar. Las más reconocidas regiones para el cultivo del

¹Geocities. <http://www.deguate.com/artman/publish/cultura-platillos-bebidas-guatemala/historia-del-cafe-en-guatemala.shtml#.UNstbeRDw0g>. Consulta: 20 de enero de 2013.

café de Guatemala son: la bocacosta sureste y occidental del Pacífico, así como la región de Alta Verapaz.

La limpia y preparación del terreno se inicia después que, el caficultor ha seleccionado la semilla y formado los semilleros y almácigos, protegidos del sol y en condiciones de humedad y temperatura estables. La germinación tiene lugar entre 2 y 6 meses. Actualmente cuando las plantas se encuentran de soldadito, se trasplantan a bolsas de polietileno que se colocan bajo sombra viva o bajo un tapesco. Cuando las matitas tienen más o menos un año se trasplantan al terreno antes preparado, siendo la época más adecuada el inicio de la estación lluviosa. Un buen crecimiento y una producción rentable están garantizados cuando el cafetal está protegido por árboles de sombra y rompe vientos, pues sin ellos puede afectar tanto las heladas y vientos como el calor solar, dependiendo de la época del año. En Guatemala, los árboles de sombra de rápido crecimiento son: el cuje, chalum, cushin, guaba, pito y oito.

El árbol de café puede alcanzar hasta los 12 metros de altura, por lo que es importante podar o descopar regularmente los cafetos para asegurar, no solo un mayor rendimiento sino también facilitar la cosecha.

Durante la florescencia, las ramas de cafeto se llenan de flores parecidas a las del jazmín que, al ser fecundadas, necesitan de 6 a 7 meses para desarrollarse y formar un grano maduro, el cual se torna primero amarillo luego rosado y finalmente rojo púrpura.

2.2.2. Recolección

Es la etapa más costosa de la producción del café. Se inicia cuando la cáscara del fruto ha tomado color de cereza. La tarea es delicada debido a que

se debe de reconocer el grano inmaduro, maduro y sobremaduro ya que produce diferencias en la bebida. El grano verde produce en la taza un sabor áspero, el grano sobremadurado en el árbol se encoge y se seca y produce un sabor agrio o frutoso. Después de cortada la cosecha se procede a trasladarla al beneficio húmedo.

Figura 1. **Recolección de café cereza**



Fuente: *El economista*. <http://www.economista.net/macro/111284-guatemala-y-el-salvador-sin-da%C3%B1os-en-cosecha-de-caf%C3%A9-por-el-fr%C3%ADo.html>. Consulta: 3 de enero de 2013.

2.2.3. El beneficio

El beneficiado de café consiste en una serie de procedimientos que ayudan a liberar el café de los 4 envoltorios que lo protegen:

- La cáscara de cereza o pulpa
- El mucílago que envuelve los dos granos
- El pergamino
- La fina película sedosa que protege el grano de oro.

La abundancia de agua por las lluvias torrenciales en algunas regiones de Guatemala favorece el método de beneficiado húmedo.

El método de beneficiado seco se deja secar el grano al sol, con la cáscara y la pulpa, lo que depende de un tiempo seco cálido y prolongado, condición que no siempre se cumple. Esta es la diferencia entre los cafés lavados y los no lavados, que dan una calidad inferior.

Un café bien procesado define aroma calidad y color más natural. Un beneficio de café húmedo consiste en pulperos, grandes tanques o pilas de fermentación, lavaderos y amplios patios de concreto. Guatemala cuenta con 3 000 beneficios húmedos de café.

2.2.4. Despulpado

El café recolectado debe despulsarse el mismo día para evitar los efectos de recalentamiento y sobrefermentación. En el método primitivo, el café cereza se vertía primero en agua para podrir la cáscara y luego disminuir su tamaño más fácilmente con los pies o mazos. Después se pasaba por agua para separar la cáscara del grano. Para las grandes cosechas se inventaron los pulperos.

2.2.5. Fermentación

Después del despulpado, el café reposa en tanques de agua o pilas para que fermente. Ahí permanece de 24 a 36 horas en climas cálidos, y de 36 a 48 horas en climas fríos, para que el mucílago, miel, se desprenda del grano. Una fermentación uniforme conserva la calidad del café suave.

2.2.6. Lavado

Luego se lava para remover el mucílago y limpiarlo de cualquier materia en forma manual o mecánica. En algunas fincas se patea el café en una pila, otras utilizan bombas centrífugas especiales.

Luego se pasa por el correteo continuo. El cual consiste en un canal de 45 a 60 centímetros que sirve para clasificar el café, el cual conforme a su peso se va depositando en la superficie inferior, de modo que la pulpa y los residuos de la fermentación flotan y son desechados.

2.2.7. Secado

El grano se escurre y luego se seca. La forma tradicional es extenderlo de seis a 15 días en patios, donde los peones lo mueven constantemente con un rastrillo para que el secado sea uniforme. Cuando las lluvias no permiten el secado, se recomienda el uso de secadoras mecánicas.

Posteriormente, el café se pasa por el aventador para limpiarlo de todo polvo y basura. Una zaranda, también lo separa de toda materia inorgánica como piedras y arena que se mezclan con el café cuando se secan al aire libre.

Para eliminar el pergamino se utilizan simples retrillas mediante el cual se obtiene el café oro. El proceso remueve la piel sedosa que cubre el grano y le da un brillo especial.

Figura 2. **Secado de café**



Fuente: Prensa Libre.

<http://www.google.com.gt/imgres?um=1&hl=es&tbo=d&biw=1024&bih=667&tbm=isch&tbnid=Z-tdD92yRRKjRM:&imgrefurl=http://www.prensalibre.com/economia/cafetalero-anacafe-leyM&imgurl=http://www.prensalibre.com/economia/cafe-cafetalero-anacafe-impuesto-ISR->

Consulta: 04 de enero de 2013.

2.2.8. Clasificación

Cuando el café ha sido beneficiado y liberado de los 4 envoltorios, se procede a clasificar el tamaño y forma de los granos; donde se remueve los granos defectuosos, negros, manchados o quebrados.

Para obtener mayor uniformidad en el tamaño, los granos se pasan por una zaranda. Operación que se realiza para que el tueste sea más uniforme.

2.2.9. Empaquetamiento y transporte

El café se empaqueta en sacos de fibra natural para luego ser transportados. Se almacenan sobre un piso de madera o tarimas y paredes con forro de madera, separando los sacos en fila, sin tocar las paredes ni estar

cerca del techo de lámina. Debe evitarse colocarlo cerca de otros productos aromáticos, como el cardamomo para que no adquiriera otros olores ni sabores.

Por último, viene el transporte. Antiguamente el café era transportado en carreteras tiradas por bueyes o al lomo de mula hacia la estación del ferrocarril más próximo, en donde era llevado a los puertos para su exportación. Actualmente los sacos de café se transportan en camiones a los puertos, años atrás, los sacos para empacar el café eran importados de Europa o Estados Unidos.

2.2.10. Contaminación

“El café es muy susceptible a la absorción de otros olores extraños, por lo que su almacenamiento debe hacerse en condiciones en las que no se altere el sabor original del mismo. Entre las contaminaciones más comunes se pueden mencionar: sabor a saco, fertilizantes, humo, cardamomo, resina, cítricos, insecticidas, jabón”.²

2.3. Subproductos

Según el ingeniero agrónomo, Luis Roberto Soto de Anacafé, comenta que el proceso de elaboración de grano de café oro produce gran cantidad de subproductos; un porcentaje estimado de 40 por ciento pulpa, 18 por ciento de agua miel y 5 por ciento de cascabillo. Por lo que, un estimado de 63 por ciento es únicamente de subproductos.

²ANACAFÉ *Control de la calidad del café*
http://www.anacafe.org/glifos/index.php?title=Caficultura_ControlCalidad. Consulta: 03 de enero de 2013

Actualmente se les está dando uso a los subproductos de la siguiente manera:

- Conversión de la pulpa de café en abono orgánico: actualmente se desarrolló un estudio sobre la producción de un abono orgánico derivado de una descomposición inmediata de la pulpa de café con fines de contribuir parcialmente con los fertilizantes químicos para reducir los costos de producción.
- Lombricultura utilizando pulpa de café: la lombricultura es la crianza técnica de lombrices en cautiverio. Su objetivo es la producción de lombricompost (lombrihumus) y consiste en el laboreo de degradación intensiva aprovechando subproductos orgánicos como la pulpa de café.
- Unidades productoras de hongos: la idea es utilizar la pulpa del café como sustrato o parte del mismo en el proceso del crecimiento y producción de hongos comestibles.

2.3.1. Beneficios húmedos ecológicos

“El agua utilizada es tratada, filtrada, reciclada y eventualmente devuelta a su entorno natural libre de contaminantes. El uso del agua se reduce considerablemente al incluir en su diseño, un sistema de tratamiento y recirculación, utilizando una bomba centrífuga para que eventualmente el agua sea debidamente procesada antes de retornar a su entorno habitual sin contaminar las fuentes naturales renovables. Por lo tanto, una de las grandes diferencias en este modelo de beneficiado es la inclusión del respeto y apoyo a la preservación del medio ambiente”.³

³CFC (International coffee Organization). *Los cafés especiales en C.A. Como aumentar la sostenibilidad productiva y ambiental*. ANACAFÉ 2011. p. 39, 18-25.

2.3.2. Cascabillo de café

Utilizado como combustible en hornos de fuego por su alto contenido calórico. El principal constituyente del endocarpio es de naturaleza celulósica.

2.4. Variedades de café

La planta de café cuenta con más de 500 géneros y cerca de 6 000 especies de árboles tropicales y arbustos, de todas las especies, solamente se cultivan 10 y dos de ellas han sido descritas como las más importantes y corresponden a más del 90 por ciento de la producción mundial.

- Coffea canephora (robusta): se cultiva en zonas cálidas. Contiene cafeína de 2-4 por ciento.
- Coffea arábica: se cultiva en montaña tropical. Contiene cafeína 0.9-1.4 por ciento. Contiene casi el doble de concentración de sacarosa que su análoga coffea robusta. Representa el 70 por ciento de la producción mundial. En Guatemala, la mayor parte de la producción es de cafés arábigos.

2.4.1. Altitud y microclimas

Rivera Joseph A. menciona en "La alquimia del tueste de café", que la altitud tiene influencia directa tanto sobre el tamaño del grano como sobre su densidad. El efecto de altitud refleja que a bajas temperaturas las velocidades de reacción decrecen y la planta, y la planta tiene efectivamente mayor tiempo para almacenar nutrientes y azúcares dentro del grano.

La altitud ejerce un efecto directo no solo en los parámetros físicos, sino también en el cambio de la composición química, ya que a mayor altitud se produce café con mayor percepción de la acidez, por cada 100 metros de ascenso se da una caída de temperatura de 0,60 grados centígrados y de otro lado se obtiene un 10 por ciento de incremento en la producción de azúcar por cada 300 metros de ascenso, siendo los azúcares termolábiles. Se descomponen durante el proceso de tueste para crear más de treinta ácidos orgánicos y cientos de compuestos volátiles.

La humedad relativa de cada ambiente regional establece el tipo de acidez. Es entonces donde se diferencian los sabores según las siete regiones cafeteras de Guatemala. Se menciona que el café proveniente de Cobán presenta delicadas y remarcadas notas a frutas y vino.

En aquellos países que carecen de elevación topográfica es necesario maximizar el potencial de los compuestos del grano, por medio de sombra.

Cuadras Susanna publica en *Café de Guatemala*, que los microclimas existentes en las regiones cafetaleras marcan la diferencia en las características de fragancia, aroma, acidez, cuerpo, sabor y postsabor de los granos guatemaltecos. En las zonas bajas, de 760 a 1 070 metros sobre el nivel del mar, el crecimiento es más rápido. Esto hace que el café no posea mucha acidez y cuerpo. Es considerado un café suave y agradable, conocido a nivel internacional como prime y extraprime.

En las zonas intermedias entre 1 070 a 1 200 metros sobre el nivel del mar, las calidades aumentan. El café de esta altura es conocido como semiduro y duro. En las zonas más altas, a partir de los 1 300 metros sobre el nivel del

mar, se cultiva el café estrictamente duro muy cotizado a nivel mundial por su peculiar acidez, cuerpo consistente, sabor definido y fuerte aroma.

Tabla I. **Tipos de café de Guatemala**

Tipos de café de Guatemala	Características
Estrictamente duro (4 500-5 000 psm)	Oro compacto, color verde oscuro y azulado. Tueste parejo oscuro, corrugado. Aroma bastante fragante y taza con acidez y cuerpo pronunciado.
Duro (4 000-4 500 psm)	Oro tamaño grande, color verde oscuro. Tueste oscuro con pequeñas manchas claras. Aroma fragante y taza con cuerpo y acidez balanceados.
Semiduro (3 500-4 000 psm)	Oro mediano, color verde jade. Tueste oscuro con manchas claras. Aroma fragante y taza con acidez y sabor dulce.
Extra Prima (3 000-3 500 psm)	Oro tamaño mediano, algo claro y liso. Tueste algo claro. Aroma moderado, ligeramente fragante. Taza con cuerpo leve y acidez moderada.
Prime Washed (2 500-3 000 psm)	Oro pequeño, de forma normal y liso, de color verde claro. Tueste claro. Con poco carácter aroma, cuerpo y acidez leve.

Fuente: Escuela de café. *Técnicas para preparar una excelente taza de café*. www.anacafe.org.

Consulta: 9 de febrero de 2014.

El proceso de tostado depende del tamaño del grano y del tipo de bebida que se requiera. Un buen tueste depende de la homogeneidad de los granos de la carga de café que se someta al proceso de tostado.

Mientras más grandes, necesitarán más tiempo de tostado, mientras más pequeños, requerirán menos.

Tabla II. **Características de las variedades del café de Guatemala**

Región	Características de lugar	Características de la taza
Acatenango	El grano es cosechado a la sombra a alturas que alcanzan los 2 000 metros. Suelos ricos en minerales.	Marcada acidez, aroma fragante, postgusto persistente.
Antigua	Se cultiva por encima de los 1 500 metros. Suelo volcánico con bajos niveles de humedad.	Taza elegante, bien balanceada, exquisito aroma y sabor particularmente dulce.
Atitlán	Suelo más rico en materia orgánica del país. Altitudes que superan los 1 500 metros.	Taza deliciosamente aromática, pronunciada acidez cítrica.
Cobán	1 300-1 500 msnm. Altos niveles de nubosidad, lluvia y frío.	Presenta notas afrutadas, cuerpo fino y bien balanceado, con un aroma agradable.
Fraijanes	1 400-1 700 msnm. De suelos volcánicos con piedra pómez.	Acidez pronunciada y persistente, aromática y con cuerpo definido.
Huehuetenango	2 000 msnm. Regiones no volcánicas de Guatemala	Acidez fina e intensa.
Oriente	1 300-1 700 msnm. Lluviosa y nublada. Posee suelos balanceados en minerales.	Taza balanceada y nivel achocolatado.
San Marcos	1 300-1 800 msnm. Suelos ricos en minerales y lluvias torrenciales	Presenta delicada notas florales en su aroma y sabor, pronunciada acidez.

Fuente: ANACAFÉ *Los cafés de Guatemala*.

http://www.anacafe.org/glifos/index.php?title=BuenCafe_CafesdeGuatemala. Consulta: 6 de febrero de 2014.

2.5. Tostado de café

El tostado de café provoca el hinchamiento, cambio de color y aspecto del grano. Cuando ocurre el tostado se aumentan las sustancias grasas,

disminuye los azúcares y los ácidos clorogénicos. Como principal característica aparecen más de 700 compuestos aromáticos.

El tueste del café es una fase vital dentro de su cadena de elaboración. Un buen tueste influye más en la calidad de una taza de café. El proceso de tostar los granos consiste en someterlos durante un tiempo limitado a una alta temperatura, donde el grano:

- Pierde peso, alrededor del 15 al 20 por ciento, debido en gran parte a la evaporación de su humedad y en menor parte a la pirólisis de algunos componentes.
- El grano aumenta de volumen, entre 70 y el 80 por ciento para el torrefacto.
- El color se transforma en un marrón, más o menos oscuro en función del grado de tueste escogido.
- Su composición química del grano sufre una importante transformación, tanto a nivel cuantitativo como cualitativo. Azúcares, grasas, proteínas, sustancias nitrogenadas no proteicas, ácidos... todo sufre una transformación debido a las altas temperaturas a que es sometido el grano.

2.5.1. La torrefacción de café

En este proceso, el calor tiene que ser aplicado rápida y uniformemente manteniendo los granos en movimiento. Si las temperaturas son muy altas el café se quema. Con insuficiente calor no se tuesta ni piroliza. Ambas condiciones producen mala calidad a la bebida. Si los granos no se agitan continuamente no hay uniformidad en el tueste y se pueden quemar.

2.5.1.1. Variables básicas del tueste

La temperatura y tiempo son las variables principales del tueste. Sin embargo, no se puede definir parámetros debido a que la temperatura no es constante sino que varía con el tiempo.

2.5.1.1.1. Tiempo

La determinación de los tiempos viene dado por:

- Los hábitos de consumo de país, tipo de máquina, tipo de café que se va a tostar, tipo de tueste: por origen del café y destino de café: hostelería o alimentación.

2.5.1.1.2. Temperatura

“La temperatura de tueste depende del tiempo y de la intensidad del color final requerido. En una primera fase se seca la humedad del café. En una segunda fase se origina la expansión de las celdillas del grano de café y empieza la creación de los gases. La tercera fase debe ser más lenta, pues es la que confiere, básicamente el gusto final al producto”.⁴

⁴SOLÁ Albert. *Tostado y molido del café*. Publicado por: Infocafes. <http://www.infocafes.com/descargas/biblioteca/18.pdf>. Consulta: 04 de enero de 2013.

Tabla III. **Características del tueste respecto su temperatura**

Temperatura	Características
150 °C (302 °F)	Despide olor a semillas tostadas sin apreciarse el aroma característico.
180 °C (356 °F)	El aroma característico del café comienza a desarrollarse. Desprendimiento de CO y CO ₂ . Los gases de combustión aparecen en volutas color blanco azuladas. Los granos adquieren una coloración color marrón y el volumen aumenta.
180 °C-270 °C (356 °F-518 °F)	El aroma es más abundante y el color más oscuro. Hay un aumento mayor en volumen, los granos crepitan y presentan una exudación brillante en la superficie.
270 °C (518 °F)	El desprendimiento del humo aumenta, los granos se ennegrecen y pierden el brillo; el volumen deja de aumentar.
300 °C (572 °F)	Granos negros y desmenuzables bajo ligera presión, desaparece el aroma por completo. El café se carboniza.

Fuente: MONROIG Miguel F. *Calidad del café cultivo, procesamiento y elaboración de café de calidad*. <http://academic.uprm.edu/mmonroig/id62.htm>. Consulta: 05 de Enero de 2013.

Cuánto más oscuro es el tostado, menos pronunciada es la acidez y los diferentes aspectos de sabor (y defectos) de la bebida, pero más consistente es el cuerpo. A medida que aumenta el nivel del tueste en los cafés oscuros tienden a producir cafés más astringentes y de mayor cuerpo. Cuanto más claro es el tostado, más pronunciadas son la acidez y el sabor (y los defectos), pero el cuerpo es más ligero.

Tabla IV. **Grado de tueste de grano de café**

Grado de tueste	Nivel de tueste	Características	
Ligero	Canela	Es un tueste ligero, donde el color es bastante claro. Mucho cuerpo y acidez	
Medio	Americano	Es un tueste regular, marcada acidez y cuerpo. Sabor acaramelado.	
Medio-alto	Vienes	Sabor fuerte y aroma marcado, color marrón.	
Alto	Francés	El color de los granos es marrón muy oscuro y tiene una textura grasienta. El sabor es amargo se pierde la acidez y el cuerpo.	
Obscuro	Francés alto	Su aspecto es casi totalmente negro. El sabor es ahumado e intenso, carece completamente de acidez y tiene muy poco cuerpo	

Fuente: The Italian Coffee Company. *El tostado de café*.

http://theitaliancoffeecompany.blogspot.com/2010_10_01_archive.html. Consulta: 5 de febrero del 2014.

2.5.1.1.3. **Molido y filtración**

La finura o el grosor del molido de café determinan la rapidez con la que el agua pasa a través de este. Diferentes métodos de preparación requieren distintos grados de molido.

Un molido que es muy tosco para un determinado método hará que el agua pase muy rápido, resultando en una bebida ligera. Un molido muy fino para un determinado método y haciendo que el agua permanezca mucho tiempo en contacto con el café resultando en sabores amargos producto de la sobreextracción.

2.6. Desecho de café

El residuo sólido de café no es un subproducto del proceso de café, es más bien un desecho del proceso de extracción acuosa del café luego de ser utilizado por el ser humano.

2.6.1. Nombre común

El residuo sólido del café es también conocido como chinga, puzunque, pastillas, poso de café, borra y chingaste conocido, vulgarmente en otros países

2.6.2. Definición

El residuo o poso del café es el material sólido agotado que queda después de preparar los extractos de café tostado y molido. Su posible utilización ha despertado el interés de algunos investigadores, puesto que se trata de un material de desecho en su totalidad. Uno de los principales problemas es la dispersión y poca concentración de las fuentes de material (residencias, restaurantes, etc.). Se ha estimado que se podría recuperar alrededor del 10 por ciento de aceites y el 0.5 por ciento de cafeína.

Según estadísticas de 1 kilogramo de café cereza; 216 gramos es mucílago, 35 gramos pergamino, 171 agua y 109 gramos de borra. Actualmente, no se clasifica el desecho sólido de café que se genera del proceso de elaboración de café, sin embargo, algunos restaurantes le han empezado a dar el uso como abono orgánico.

Debido a que el residuo sólido de café es un desecho que se genera en gran cantidad estudios de distintas universidades han realizado investigaciones para posibles usos como adsorbente del colorante rojo 44, metales pesados en aguas residuales, e incluso como biocombustible.

2.6.3. Materia prima

En el presente trabajo de investigación se considera como materia prima el desecho de café de dos distintas fuentes de recolección: el café espresso y planta de café soluble.

2.6.3.1. Recolección

Se realizó mediante la organización de un día de producción en los tres restaurantes de manera que el desecho de café se recolectará en un solo lugar al igual que en la planta de café soluble.

Figura 3. **Desecho de café espresso**



Fuente: desecho sólido de café de máquina café espresso. Salón de Baristas.

Figura 4. **Desecho de planta de café soluble**



Fuente: desecho de Planta de elaboración de café soluble

Los desechos de café serán obtenidos a partir de desechos de café espresso y una planta de café soluble. Los cuales se diferencian por el grado de tueste y tamaño de molienda. Para un espresso el tamaño de molienda es más fino que para un café de planta para obtención de café soluble debido a que este último no está molido, por ende es necesario su posterior triturado y tamizado para poder ser comparado con las otras fuentes de materia prima.

2.6.3.1.1. **Café espresso**

“El café expreso es una bebida de origen italiano (también café expreso o café exprés). Es un tipo de preparación del café. Debe su término a la obtención de esta bebida a través de una cafetera expreso. Se caracteriza por su rápida preparación y por su sabor más concentrado”⁵.

El tueste para un espresso tiene que ser específico para este tipo de preparación, de lo contrario se alteraran los sabores de la extracción (muy ácidos, muy amargos, astringentes).

Figura 5. **Máquina de café expreso**



Fuente:

<https://www.google.com.gt/search?q=maquina+de+caf%C3%A9+espresso&source=lnms&tbm=i>
[maquinas-de-cafe-espresso-al-alcance-de-su-presupuesto.html%3B440%3B340](http://www.grupoproyect.com/userContent/FILES/boletinESPRESSO.pdf). Consulta: 06
de enero de 2013.

⁵ Grupo Proyect. *Qué es el café expreso.*
<http://www.grupoproyect.com/userContent/FILES/boletinESPRESSO.pdf>. Consulta: 5 de mayo
de 2013.

El tueste de café que se utiliza para preparar espresso es diferente al de café negro. Es un tipo de tueste en donde se manejan los sabores de acuerdo al perfil de sabor deseado, no olvidando el balance de sabores que busca un espresso. El nivel de tueste es recomendado que sea ligeramente más oscuro y con un tiempo de tueste más largo.

2.6.3.1.2. Café percolado

Para el café percolado se utiliza el grano graduado más grande. Su tueste es más claro. Generalmente, el residuo de café percolado contiene mayor humedad, debido al contacto continuo con el agua.

Para preparar un café percolado se hace pasar lentamente agua hirviendo a través de un filtro relleno de café molido. Generalmente, el tiempo de contacto del agua con el grano de café es de 12 minutos.

2.6.3.2. Almacenamiento

El desecho de café se debe almacenar en bolsas con cierre para posteriormente refrigerarse, una vez secados se pueden almacenar en dichas bolsas a temperatura ambiente, en un recipiente cerrado.

2.6.3.3. Secado

Intonti menciona en el libro: *La utilización industrial del grano de café y de sus subproductos*, que para lograr buena extracción de grasa de los residuos del café, es necesario secarlos previamente para reducir la humedad idealmente al 8 por ciento. No debe usarse temperatura mayor de 105 grados celsius.

2.6.3.4. Trituradora

La trituración del residuo sólido de café se obtiene mediante una trituradora a escala planta piloto, la cual tiene como objetivo disminuir el tamaño del desecho de café sólido de una planta para obtención de café soluble, debido a que la molienda de este tipo de café es más grande que para un espresso.

2.6.3.5. Molienda

Su objetivo es la disminución de tamaño al igual que la trituradora, disminuye el tamaño del residuo sólido de café de una planta para obtención de café soluble para un mayor aprovechamiento de superficie.

2.6.3.6. Tamizado

El tamizado consiste en clasificar el tamaño de la materia prima utilizando tamices con distinto tamaño de orificio llamado mesh. El tamizado se lleva a cabo mediante un tamizador, el cual consiste en hacer vibrar los tamices para que la materia prima se ajuste al número de tamiz adecuado según su tamaño.

2.7. Aceites fijos

Los aceites fijos contienen alta proporción de poliinsaturados, se caracterizan por ser líquidos a temperatura ambiente. Son frecuentemente tratados para su clarificación y finalmente su filtración.

2.7.1. Lípidos

Guatemala produce un 98 por ciento de café arábica. Según estadísticas el contenido de fracción lipídica obtenida de este tipo de semilla (café arábica) es de aproximadamente 16 por ciento.

Los lípidos son un conjunto de biomoléculas, esencialmente insolubles en agua y solubles en solventes orgánicos (benceno, cloroformo, hexano, etc), derivadas metabólicamente de la unión sucesiva de fragmentos C2 (ácidos grasos, sus derivados y sus ésteres) o de fragmentos C5 (lípidos insaponificables).

2.7.1.1. Clasificación de los lípidos

Una característica básica de los lípidos y de la que derivan sus principales propiedades biológicas es su hidrofobicidad. La baja solubilidad de los lípidos se debe a que su estructura química es fundamentalmente hidrocarbonada (alifática, alicíclica o aromática).

2.7.1.1.1. Lípidos saponificables

Son lípidos que contienen ácidos grasos en su molécula y producen reacciones químicas de saponificación.

2.7.1.1.2. Ácidos grasos

Según la naturaleza de la cadena hidrocarbonada, los ácidos grasos pueden ser saturados, insaturados, lineales, ramificados o alicíclicos, y además pueden contener sustituyentes como grupos hidroxilo o grupos oxo.

Son ácidos monocarboxílicos de cadena larga. Por lo general, contienen un número par de átomos de carbono, normalmente entre 12 y 24. Ello se debe a que su síntesis biológica tiene lugar mediante la aposición sucesiva de unidades de dos átomos de carbono. Sin embargo, también existen ácidos grasos con un número impar de átomos de carbono, que probablemente derivan de la metilación de un ácido graso de cadena par.

Las propiedades químicas de los ácidos grasos derivan por una parte, de la presencia de un grupo carboxilo, y por otra parte, por la existencia de una cadena hidrocarbonada. La coexistencia de ambos componentes en la misma molécula, convierte a los ácidos grasos en moléculas débilmente anfipáticas (el grupo COOH es hidrofílico y la cadena hidrocarbonada es hidrofóbica). El carácter anfipático es tanto mayor, cuanto menor es la longitud de la cadena hidrocarbonada.

El grupo carboxílico de la molécula convierte al ácido graso en un ácido débil (con un pKa en torno a 4,8). También presenta las reacciones químicas propias del grupo COOH: esterificación con grupos OH alcohólicos, formación de enlaces amida con grupos NH₂, formación de sales (jabones), etc. El grupo COOH es capaz de formar puentes de hidrógeno, de forma que los puntos de fusión de los ácidos grasos son mayores que los de los hidrocarburos correspondientes. Es la cadena hidrocarbonada la que confiere a la molécula su carácter hidrofóbico. La solubilidad en agua decrece a medida que aumenta la longitud de la cadena.

2.7.1.1.3. Ácidos grasos saturados

Desde el punto de vista químico, son muy poco reactivos. Por lo general, contienen un número par de átomos de carbono. En la nomenclatura de los

ácidos grasos se utilizan con más frecuencia los nombres triviales que los sistemáticos. La nomenclatura abreviada es muy útil para nombrar los ácidos grasos. Consiste en una C, seguida de dos números, separados por dos puntos. El primer número indica la longitud de la cadena hidrocarbonada, mientras que el segundo indica el número de dobles enlaces que contiene. Los ácidos grasos saturados más abundantes son el palmítico (hexadecanoico, o C16:0) y el esteárico (octadecanoico, o C18:0).

Los ácidos grasos saturados de menos de 10 átomos de carbono son líquidos a temperatura ambiente y parcialmente solubles en agua. A partir de 12 carbono, son sólidos y prácticamente insolubles en agua. En estado sólido, los ácidos grasos saturados adoptan la conformación que da un máximo de simetría al cristal, por lo que los puntos de fusión son elevados. El punto de fusión aumenta con la longitud de la cadena.

Los ácidos grasos de cadena impar, probablemente derivan de la metilación de un ácido graso de cadena par. En ellos, la simetría del cristal no es tan perfecta, y los puntos de fusión son menores. Ejemplos son el ácido propiónico (C3:0), valeriánico (pentanoico, o C5:0) y pelargónico (nonanoico, o C9:0).

Los lípidos ricos en ácidos grasos saturados, constituyen las grasas. Conviene en este punto hacer una distinción entre los términos lípidos, grasas y aceites. Grasas son aquellos lípidos que son sólidos a temperatura ambiente, mientras que aceites son aquellos lípidos que a temperatura ambiente están en estado líquido. Tanto los aceites como las grasas son lípidos.

2.7.1.1.4. Ácidos grasos insaturados

Con mucha frecuencia aparecen insaturaciones en los ácidos grasos, mayoritariamente en forma de dobles enlaces, aunque se han encontrado algunos con triples enlaces.

Cuando hay varios dobles enlaces en la misma cadena, estos no aparecen conjugados (alternados), sino cada tres átomos de carbono. En la nomenclatura abreviada, se indica la longitud de la cadena y el número de dobles enlaces. La posición de los dobles enlaces se indica como un superíndice en el segundo número. Así, el ácido oleico (9-octadecenoico) se representa como C18:1⁹, y el linoleico (9,12-octadecadienoico) como C18:2^{9,12}, y el linolénico (9,12,15-octadecatrienoico) como C18:3^{9,12,15}. A menudo, la posición de los dobles enlaces en este tipo de ácidos grasos se indica utilizando como referencia el último carbono de la cadena hidrocarbonada, que se denomina carbono omega (C ω).

Por lo general, las insaturaciones de los ácidos grasos son del tipo cis. Esto hace que la disposición de la molécula sea angulada, con el vértice en la insaturación. Esta angulación hace que los puntos de fusión de los ácidos insaturados sean más bajos que los de sus homólogos saturados. Los dobles enlaces en trans distorsionan poco la simetría cristalina, que es muy parecida a la de los ácidos grasos saturados.

Algunos ácidos grasos poliinsaturados (linoleico, linolénico y araquidónico) no pueden ser sintetizados por los animales superiores (incluido el hombre), y como su función biológica es fundamental, deben ser suministrados en la dieta. Por este motivo reciben el nombre de ácidos grasos esenciales.

2.7.1.1.5. Derivados de los ácidos grasos

Son ésteres de ácidos grasos y diversos alcoholes; o bien, aún cuando no sean técnicamente susceptibles de saponificación, se consideran dentro de este grupo a los propios ácidos grasos y sus derivados. Por lo tanto, comprenden:

- Ácidos grasos y sus derivados: se encuentran Jabones, hidroácidos grasos, ácidos grasos ramificados, ácidos grasos cíclicos, ácidos grasos con triples enlaces.

Entre los más importantes se encuentran los eicosanoides por derivar de ácidos grasos de 20 átomos de carbono. Este término agrupa a una serie de compuestos de derivados de ácidos grasos poliinsaturados de 20 átomos de carbono. Como la diversidad de los eicosanoides es grande, estos compuestos se clasifican en función de las enzimas que intervienen en su síntesis. Si son productos de la ruta de la ciclooxigenasa: Prostaglandinas y tromboxanos. Si son productos de la ruta de la lipoxigenasa: leucotrienos.

- Prostaglandinas: se consideran derivados de un hipotético ácido prostanoico (que no se ha encontrado en la naturaleza), de 20 átomos de C, con un anillo pentagonal entre los carbonos 8 y 12. Se conocen varias familias de PG, que se denominan con una letra adicional (PGA, PGB, PBC, PGD, PGE, PGF), en función de los sustituyentes del anillo ciclopentano de su estructura.
- Tromboxanos: son eicosanoides descritos por primera vez en las plaquetas sanguíneas, aunque su distribución es muy general.

- Leucotrienos: deben su nombre a la presencia de tres dobles enlaces conjugados
- Lípidos neutros: son ésteres de ácidos grasos con alcoholes. No tiene ningún otro tipo de componentes. En la naturaleza se encuentran 2 tipos:
 - Ceras: son ésteres de ácidos grasos con alcoholes de cadena larga (entre 14 y 32 átomos de carbono, y completamente saturados), también llamados alcoholes grasos. Desde el punto de vista químico son bastante inertes. Su función principal es estructural, cubriendo y protegiendo diversas estructuras.
 - Acilglicerolos: los acilglicerolos o glicéridos son ésteres de ácidos grasos con glicerol. Constituyen el contingente mayoritario de los lípidos de reserva energética, y son muy abundantes en el tejido adiposo animal y en las semillas y frutos de plantas oleaginosas. El glicerol o propanotriol presenta tres grupos alcohólicos, y por lo tanto puede aparecer esterificado en una, dos o tres posiciones, dando lugar respectivamente a monoacilglicerolos (monoglicéridos), diacilglicerolos (diglicéridos) y triacilglicerolos (triglicéridos). En su mayoría se presentan como triésteres. Los triglicéridos son moléculas muy hidrofóbicas, mientras que los mono y diacilglicerolos presentan carácter anfipático debido a los grupos OH no esterificados. Los ácidos grasos más frecuentes en los acilglicerolos son palmítico y esteárico (entre los saturados); y oleico y linoleico (entre los insaturados).
- Lípidos anfipáticos: cuando la molécula de un lípido posee un grupo fuertemente polar además de la cadena hidrocarbonada hidrofóbica.

Estos lípidos se pueden clasificar en dos grandes grupos en función de la naturaleza del alcohol al que se encuentran esterificados los ácidos grasos; parte de la molécula es polar y parte es hidrofóbica.

- Glicerolípidos: los ácidos grasos están esterificados a los carbonos 1 y 2 del glicerol.
 - Glicoglicerolípidos: son lípidos compuestos por glicerol, ácidos grasos y un azúcar. En ellos el glicerol está esterificado en los C1 y C2 con ácidos grasos. (el ácido linolénico es uno de los más abundantes).
 - Fosfoglicerolípidos: también llamados fosfolípidos. En ellos, los C1 y C2 del glicerol se encuentran esterificados con ácidos grasos. El C3 del glicerol se encuentra esterificado a su vez, con ácido ortofosfórico. Esta molécula es el ácido fosfatídico, y puede considerarse como la molécula a partir de la cual se construyen los distintos tipos de fosfoglicerolípidos.
- Esfingolípidos: están compuestos por un alcohol nitrogenado llamado esfingosina. La esfingosina aparece normalmente N-sustituida, formando un enlace amida con un ácido graso (que generalmente está insaturado). Esta N-acilesfingosina recibe el nombre de cerámido o ceramida. Los lípidos que contienen cerámidos se clasifican en dos grupos:
 - Glicoesfingolípidos: el cerámido está unido mediante un enlace a un monosacárido o a un oligosacárido. El cerámido suele contener ácidos grasos de cadena muy larga, como el lignocérico. Los

monosacáridos que aparecen en estos lípidos son glucosa, galactosa entre otros.

- Fosfoesfingolípidos: el cerámido está esterificado con ácido fosfórico, que a su vez se une mediante enlaces éster a alcoholes nitrogenados (colina, etanolamina, etc).

2.7.1.1.6. Lípidos insaponificables

Constituyen un grupo muy heterogéneo de biomoléculas, algunas de las cuales desempeñan funciones muy importantes en los seres vivos. Los fragmentos C5 se conocen como la aposición de unidades isoprenicas. Se consideran terpenos, poliprenoides o poliisoprenoides, todos aquellos lípidos derivados de la unión sucesiva de unidades isoprenoides. Dado que estas unidades constan de cinco átomos de carbono, se puede pensar que todos los terpenos contienen un número múltiplo de cinco de estos, de la misma manera que los ácidos grasos contienen un número par.

Son compuestos formados por la aposición sucesiva de unidades isoprenoides de cinco átomos de carbono, con modificaciones ulteriores (que pueden comportar pérdida de átomos de carbono). Pueden ser clasificados según el número de estas unidades: monoisoprenoides, triisoprenoides, etc. Sin embargo, se prefiere clasificarlos de esta manera:

- Esteroides: compuestos hexaisoprenoides estructurados en un sistema polialicíclico (ciclopentanoperhidrofenantreno) y agrupa un conjunto de compuestos de extraordinario interés fisiológico.

Los esteroides son compuestos derivados del esterano, un sistema de 4 ciclos que se forman a partir del hidrocarburo triterpénicoescualeno. Los distintos esteroides se distinguen por: el grado de saturación del esterano, existencia de diversas cadenas laterales y la existencia de diversos grupos funcionales (hidroxilo, oxo o carbonilo). Los esteroides se clasifican en:

- Esteroles: se consideran derivados del colestano. (de 27 carbonos) Se presentan habitualmente en la membrana plasmática de todos los seres vivos (excepto las eubacterias).
- Ácidos y sales biliares: se consideran como derivados estructurales del colano, de 24 átomos de carbono. Son muy abundantes en la bilis.
- Hormonas esteroideas: sustancias producidas por las glándulas endocrinas, que se distribuyen por el torrente sanguíneo y ejercen funciones de regulación metabólica en tejidos específicos. Entre estas hormonas se encuentran: estrógenos, andrógenos, gestágenos y corticoides.
- Terpenos: químicamente la mayoría son hidrocarburos, aunque algunos contienen funciones oxidadas (en este caso se habla de terpenoides). Muchas de estas moléculas son vitaminas liposolubles que, en muchos casos actúan como cofactores enzimáticos. en este grupo se encuentran los principales constituyentes de los aceites esenciales de las plantas como son los terpenos y terpenoides. Comprenden una gran cantidad de productos naturales, como aceites esenciales, alcaloides etc. Se

encuentran los retinoides (vitaminas A), tocoferoles (vitaminas E), naftoquinonas(vitaminas K), dolicol fosfatos. Se clasifican en:

- Hemiterpenos: constan de una única unidad de isopreno (5C).
- Monoterpenos: constan de 2 unidades de isopreno (10C) y pueden ser lineales o cíclicos. ejemplo: limoneno, el pineno.
- Sesquiterpenos: constan de 3 unidades isopreno (15C). Un ejemplo es el farnesol.
- Diterpenos: constan de 4 unidades de isopreno (20C), ejemplo: retinol.
- Sesterpenos: constan de 5 unidades de isopreno (25C).
- Triterpenos: constan de 6 unidades de isopreno (30C).
- Tetraterpenos: constan de 8 unidades isopreno (40C).
- Politerpenos: consisten en largas cadenas de muchas unidades isopreno como el caucho.

Existen otros lípidos insaponificables que no están relacionados estructuralmente con el isopreno y son:

- Hidrocarburos: algunos de cadena lineal o ramificada suelen estar presente en vegetales y levaduras, formando mezclas complejas. Su papel fisiológico no está claro, aunque probablemente sean sustancias de reserva.
- Lípidos pirrólicos: se distinguen los compuestos mono y dipirrólicos.

2.8. Composición de la fracción lipídica de café

Investigaciones recientes realizadas en Estados Unidos de Norteamérica ha reconocido que la fracción lipídica de café contiene gran cantidad de componentes, y en mayor cantidad los esteres diterpénicos los cuales se diferencian de otras fracciones lipídicas vegetales.

Actualmente la fracción lipídica de café no se ha considerado como un aceite vegetal debido a su característico color café, sabor distintivo y su alto contenido diterpénico. Se ha considerado en purificar el aceite que se obtiene del residuo sólido de café tostado incluso para propósito de generar un aceite más estable, debido a que la fracción lipídica obtenida del residuo sólido de café es significablemente menos estable que la fracción lipídica obtenida del aceite que no está tostado.

Se conoce que el aceite de café contiene gran variedad de ingredientes, como esteres diterpénicos (como el cafestol y el kahweol), ácidos grasos insaponificables, sin embargo, cuando el aceite de café se utiliza como aromatizante para polvo de café soluble, la presencia de uno de estos ingredientes causa enrancimiento en corto tiempo. Por lo tanto si el aceite de café se utiliza en forma de emulsión con aroma es necesario eliminar en contenido de estos ésteres diterpénicos.

Las características analíticas de la fracción lipídica de café esencialmente consiste en un 75 por ciento de triglicéridos 20 por ciento de monoésteres de ácidos grasos de dos alcoholes diterpénicos llamados cafestol y kahweol. Contiene fosfátidos, ésteres de esteroles ácidos grasos y cafestol y kahweol.

Intonti menciona en el libro de: *La utilización industrial del grano de café y de sus subproductos*, que la extracción de grasa de los residuos del café utilizando al éter de petróleo se pueden obtener rendimientos hasta de 14 por ciento. La grasa es líquida y oscura con punto de fusión de 13,5 grados Celsius – 14,5 grados Celsius, índice de refracción de 71,7, acidez de 3,8 e índice de saponificación de 190. El análisis de las sustancias grasas ha revelado la presencia de ácido palmítico, carnáubico, linoleico, y oleico. También se obtiene alrededor de un 2 por ciento de insaponificables. Los monoésteres de cafestol y kahweol son esencialmente palmitatos y linoleatos.

2.8.1. Cafestol y kahweol

El cafestol y el kahweol son diterpenos presentes en las semillas de café verde en forma libre o esterificados con palmitato. Se considera que son responsables del aumento en los niveles de colesterol total observados en algunas poblaciones que consumen café sin filtrar, como el café turco, café hervido escandinavo que contienen altos niveles de ambos diterpenos (6-12 miligramos/taza, 1,5 miligramos/taza) de café espresso.

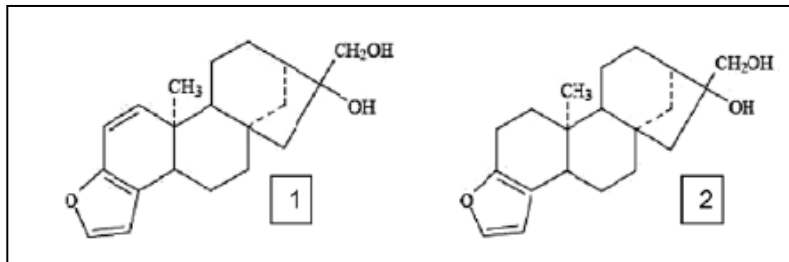
A pesar de que las concentraciones de diterpenos son relativamente altas en el café expreso, la pequeña porción que se sirve lo hace una fuente intermedia de cafestol y kahweol (4 miligramos/taza)

El aceite de café es rica en compuestos diterpénicos, principalmente cafestol ($C_{20}H_{28}O_3$) y kahweol ($C_{20}H_{26}O_3$), los cuales han recibido atención debido a sus efectos fisiológicos en la salud humana. Estos diterpenos son alcoholes pentacíclicos basados en la fusión de unidades de isopreno (C5) para formar el esqueleto de 20 carbonos. Kahweol se diferencia del cafestol por el doble enlace entre carbono. Análisis recientes de cafestol ha demostrado que

existe mayor concentración en el café de origen *coffea arabica* que en el de grano origen *coffea canephora*.

El cafestol y el kahweol y/o sus ésteres, son los componentes principales de la fracción de éster de diterpeno del aceite de café.

Figura 6. **Estructura de kahweol (1) y cafestol (2)**



Fuente: KITZBERGER, C.S.G. *Analysis of diterpens in green and roasted coffee*. Consulta: 5 de enero de 2013.

Según la patente de España 2 248 855 (Pelle, Edward y Anderson). Se ha descubierto que el cafestol cuando se aplica tópicamente a la piel, es capaz de estimular la producción de uno o más de los componentes lipídicos naturales de la capa córnea, así como aumentar la capa córnea en sí misma. De esta forma se proporciona un nuevo tipo de composición cosmética o farmacéutica que funciona aumentando las funciones propias de la piel lo que da lugar a evitar la piel seca y otros resultados no deseados de una barrera lipídica deficiente. A la vista de esta actividad, el cafestol o el kahweol son componentes muy útiles para composiciones cosméticas y/o farmacéuticas suministradas de forma tópica.

También se describe el uso de ésteres de cafestol y kahweol como; agentes de filtro solar, y jabones que actúan como películas monomoleculares sobre la piel. Además se ha sugerido que el cafestol junto con el kahweol tiene un efecto protector frente a agentes cancerígenos en animales.

Tabla V. **Datos generales de cafestol y kahweol**

CAFESTOL	KAHWEOL
No de CAS: 469-83-0 Fórmula: $C_{20}H_{28}O_3$ Peso molecular: 316.4345 Densidad: 1.23 g/cm ³ Punto de ebullición: 468.6 °C a 760 mmHg. Apariencia: sólido blanco. Punto de inflamación: 237.2 °C Almacenamiento: -20°C.	No de CAS: 6894435 Fórmula: $C_{20}H_{26}O_3$ Peso molecular: 314.42 Almacenamiento: -20°C Apariencia física: blanco

Fuente: CHEMICAL, Book. *Cafestol Product Description*.

http://www.chemicalbook.com/ChemicalProductProperty_US_CB3228995.aspx. *Kahweol Product Description*. http://www.chemicalbook.com/Search_EN.aspx?keyword=6894435.

Consulta: 07 de enero de 2013.

2.9. Composición del grano de café

El endospermo es la parte del cafeto que ha sido estudiada analíticamente con mayor intensidad.

2.9.1. Humedad

La humedad del grano recién cortado varía entre 48 y 50 por ciento, y va decreciendo a medida que se elabora el café hasta alcanzar un nivel que fluctúa entre el 8 y 12 por ciento.

2.9.2. Celulosa bruta

El contenido de celulosa en el café es relativamente constante e independiente de las variedades. Wilboux informa que la variación es del 20 al 27 por ciento en base seca, para los cafés de Brasil y Centroamérica.

2.9.3. Materias grasas

Las materias grasas del grano de café están constituidas, principalmente, por aceites y ceras que contienen algunas cantidades de materia no saponificable (esteroles). La mayoría de los trabajos se refieren a una mezcla de esos aceites y grasas, representada por la extracción total con algún disolvente orgánico.

Con aceites extraídos de cafés de Guatemala, Java y Santos, Bauer informa que el contenido de ácidos grasos saturados era de 41 por ciento, ácido oleico 31 por ciento, ácido linoleico 28 por ciento y materia no saponificable 9.6 por ciento.

Tabla VI. **Ácidos grasos del aceite de café arábigo de Brasil**

Ácidos grasos	Porcentaje
Ácido palmítico	32,0
Ácido hexadecanoico	0,9
Ácido esteárico	7,6
Ácido oleico	8,2
Ácido linoleico	46,3
Ácido araquídico C20, ácido behénico C22, ácido Lignocérico C24.	5,0

Fuente: AGUIRRE, B. Francisco. *La utilización industrial del grano de café y de sus subproductos*. Investigaciones Tecnológicas del ICAITI. Consulta: 06 de enero de 2013.

Tabla VII. **Materias grasas totales despojadas de ceras (café de Brasil)**

Materias grasas totales	Resultado
Índice de acidez, porcentaje ácidos grasos	7,05
Índice de saponificación, miligramo hidróxido de potasio por un gramo de muestra	195,53
Índice de yodo, gramos de yodo por 100 gramos de grasa	100,72
Índice de refracción (adimensional)	1,479
Ácido palmítico, porcentaje	20,1
Ácido oléico, porcentaje	12,3
Ácido linoleico, porcentaje	25,6
Ácido esteárico, porcentaje	9,1
Ácido mirístico, porcentaje	2,2
Ácido araquídico, porcentaje	2,1

Fuente: AGUIRRE, B. Francisco. *La utilización industrial del grano de café y de sus subproductos*. Investigaciones Tecnológicas del ICAITI. Consulta: 06 de enero de 2013.

2.9.3.1. Materias grasas contenidas en el residuo de café

Heller encontró 3 por ciento de materias grasas con un contenido del 15 por ciento en ceras. Kohle menciona un índice de saponificación de 170. Carbonell menciona un contenido de ceras entre el 12 y 14 por ciento en el café arábigo crudo y tostado. Martinenghi al investigar sobre el residuo de café percolado registra un contenido de agua del 52,9 por ciento, de aceites del 14 al 19 por ciento, sobre base seca, con 9,76 de insaponificables. Kahn menciona haber obtenido hasta el 5 por ciento de materia no saponificable del residuo de café.

2.9.4. Azúcares

La cantidad de azúcares totales varía del 4 al 12 por ciento. Entre los azúcares se menciona a la glucosa, la maltosa, dextrina, fructuosa, arabinosa, galactosa y manosa. Según investigadores mencionan que el café tostado contiene carbohidratos polimerizados que no están presentes en el café crudo; bajo la acción de la temperatura del proceso de tueste se desarrolla un galactomanano.

También se han descrito algunas enzimas contenidas en el café, tales como la galactosidasa. El contenido de almidones es virtualmente nulo, y lo que se detecta en el café arábigo son pequeñas cantidades de dextrina (0,9 por ciento).

2.9.5. Cafeína

Las propiedades estimulantes del café se atribuyen, en su mayor parte, al alcaloide cafeína. El contenido de cafeína varía según el lugar; para el café robusta se obtuvo entre 1,57 - 2,68 por ciento para café robusta y del 0,94 - 1,59 por ciento para el café arábigo. El contenido de cafeína en extractos de café permanece constante al cabo de 12 días de almacenamiento. (Fernández Llanos, Kremer y Bender, han informado sobre sus estudios en torno a la recuperación de la cafeína del residuo de café).

2.9.6. Ácido clorogénico

Los taninos de la semilla del café están constituidos, principalmente, por ácido clorogénico. El ácido clorogénico está formado por un radical ácido cafeico y un radical ácido tánico. El ácido isoclorogénico y el ácido cafetánico

son complejos del ácido clorogénico y ácido cafóico. El contenido de ácido clorogénico en el café crudo seco varía entre el 6-10 por ciento, aunque hay informes que dan valores hasta del 2 por ciento. El contenido de ácido clorogénico, en términos generales, es mayor para el café robusta (9 por ciento) que para el café arábigo (7,2 por ciento).

2.9.7. Trigonelina y ácido nicotínico

La trigonelina se encuentra en el café crudo en cantidades que se sitúan cerca del 1 por ciento, y el ácido quínico en cantidades que fluctúan entre 7,4 y 11 miligramos. Se ha observado que a medida que progresa el procedimiento de tueste, disminuye la cantidad de trigonelina y aumenta la del ácido nicotínico. Este hecho sugiere que la trigonelina es un precursor del ácido nicotínico en el café. Entre las otras funciones que se atribuyen a la trigonelina, figura la de contribuir al sabor y al aroma del café.

2.9.8. Minerales

El contenido de las cenizas en diversos tipos de café es muy variable y depende en gran parte de la composición mineral de los terrenos en que está sembrada la planta. Wilboux menciona que el contenido de cenizas varía del 5-3.8 por ciento dependiendo el país. Entre los minerales encontrados se mencionan: anhídrido fosfórico, calcio, magnesio, potasio (el cual es invariablemente mucho mayor que el de los otros minerales). Estudios recientes han encontrado rubidio y manganeso.

2.9.9. Otros

Se encuentran las resinas, almidón, glúcidos, fosfátidos, vitaminas (en pequeñas cantidades. caroteno, tiamina, riboflavina, ácido fólico, ácido pantoténico, factor citoverum, B-6, B-12, colina y niacina

Tabla VIII. **Composición química de la semilla de café**

Componente	Gramos (%)	mg
Agua	8-12	
Insaponificables	0-2	
Nitrógeno	1,8-2,5	
Proteína	9-16	
Cafeína	0-2	
Ácido clorogénico	2-8	
Trigonelina	1-3	
Cenizas	2,5-4,5	
Calcio		85-100
Fósforo		130-165
Hierro		3-10
Sodio		4
Manganeso		1-45
Flúor		Trazas
Tanino	2	
Ácido cafetánico	8-9	
Ácido Caféico	1	
Almidón	5-23	
Dextrina	0,85	
Sacarosa	5-10	
Azúcares reductores	0-5	
Celulosa	10-20	
Hemicelulosa	20	
Lignina	4	

Fuente: AGUIRRE, B. Francisco. *La utilización industrial del grano de café y de sus subproductos*. Investigaciones Tecnológicas del ICAITI. Consulta: 05 de enero de 2013.

2.10. ¿Qué sucede con los almidones contenidos en el grano de café?

Anteriormente se mencionó que el café contiene poca cantidad de almidón y dextrina. El termino dextrina se refiere a productos los cuales se obtienen a partir del calentamiento de un almidón inmodificado. Las pirodextrinas son llamadas también dextrinas de torrefacción las cuales se obtienen a partir del calentamiento del almidón de 79-190 grados Celsius durante 3-24 horas.

El tostado de café se obtiene a partir del calentamiento del grano, el cual es de 180 grados Celsius durante 15 minutos. El grano de café puede cambiar de sabor si el tueste es muy intenso, provocando mal sabor a la taza de café. El sabor del café y su aroma se definen por la temperatura y tiempo de tueste. Hoy en día Guatemala clasifica al tueste como liviano, medio y oscuro.

Grandes cantidades de dextrinas pueden clasificarse mediante el origen del almidón, humedad, temperatura y duración del tostado, las cuales son variables del proceso. Las dextrinas, generalmente se clasifican en origen del almidón, método de manufactura, color, solubilidad en agua fría y viscosidad relativa en solución acuosa. La mayoría de dextrinas se utilizan principalmente como adhesivos.

Las pirodextrinas se pueden clasificar en tres categorías primarias:

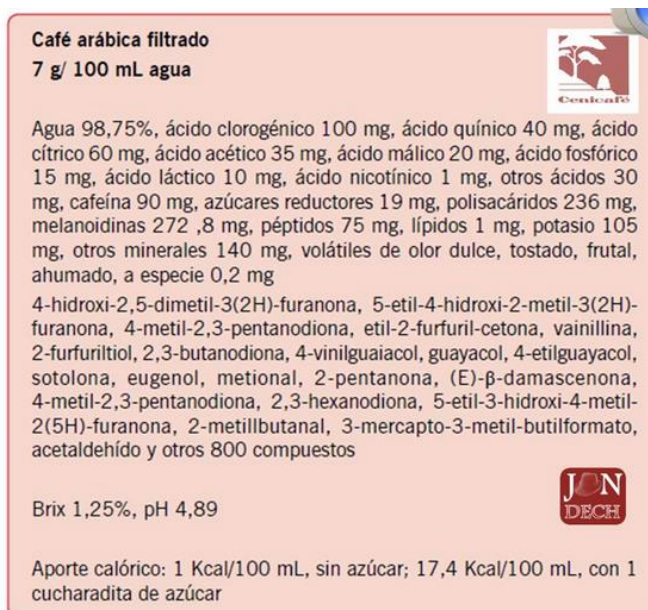
- **Dextrinas blancas:** son preparadas mediante el calentamiento del almidón con un catalizador ácido, como el ácido acético y el ácido clorhídrico. La conversión es rápida incluso a temperatura baja. El color es suave y la solubilidad en agua puede ir de baja a alta. Temperatura de tostado: 79-121 grados Celsius. Tiempo de tostado: 3-7 horas.

- Dextrinas amarillas: se preparan a partir del calentamiento del almidón con ácidos a una temperatura más alta. Este tipo de dextrinas son arriba del 95 por ciento soluble en agua. Temperatura de tostado: 149-190 grados Celsius. Tiempo de tostado: 6-20 horas.
- Gomas inglesas: son preparadas mediante el calentamiento del almidón sin agregar ningún ácido. La conversión es catalizada mediante trazas ácidas que se dan naturalmente en el almidón (o que se forma durante la pirolisis) o por medio de materiales alcalinos como carbonato de sodio, bicarbonato de sodio. En general, los productos tienen colores oscuros, un amplio rango de solubilidad en agua fría y altas viscosidades. Temperatura de tostado: 135-190 grados Celsius. Tiempo de tostado: 10-24 horas.

2.11. Contenido químico de una taza de café

El café está compuesto por más de 1 000 sustancias químicas distintas incluyendo aminoácidos y otros compuestos nitrogenados, polisacáridos, azúcares y triglicéridos, cafeína, sustancias volátiles entre otros.

Figura 7. **Características químicas y reacciones del café al combinarse con agua caliente**



Café arábica filtrado
7 g/ 100 mL agua

Agua 98,75%, ácido clorogénico 100 mg, ácido quínico 40 mg, ácido cítrico 60 mg, ácido acético 35 mg, ácido málico 20 mg, ácido fosfórico 15 mg, ácido láctico 10 mg, ácido nicotínico 1 mg, otros ácidos 30 mg, cafeína 90 mg, azúcares reductores 19 mg, polisacáridos 236 mg, melanoidinas 272,8 mg, péptidos 75 mg, lípidos 1 mg, potasio 105 mg, otros minerales 140 mg, volátiles de olor dulce, tostado, frutal, ahumado, a especie 0,2 mg

4-hidroxi-2,5-dimetil-3(2H)-furanona, 5-etil-4-hidroxi-2-metil-3(2H)-furanona, 4-metil-2,3-pentanodiona, etil-2-furfuril-cetona, vainillina, 2-furfuriltiol, 2,3-butanodiona, 4-vinilguaiacol, guayacol, 4-etilguayacol, sotolona, eugenol, metional, 2-pentanona, (E)- β -damascenona, 4-metil-2,3-pentanodiona, 2,3-hexanodiona, 5-etil-3-hidroxi-4-metil-2(5H)-furanona, 2-metilbutanal, 3-mercapto-3-metil-butylformato, acetaldehído y otros 800 compuestos

Brix 1,25%, pH 4,89

Aporte calórico: 1 Kcal/100 mL, sin azúcar; 17,4 Kcal/100 mL, con 1 cucharadita de azúcar

DECH, Jon. <http://baristajondech.blogspot.com/2012/09/composición-quimica-de-una-taza-de-café.html>. Consulta: 12 de enero 2013.

2.12. Usos de la fracción lipídica de café

Gertner menciona en el libro de: *La utilización industrial del grano de café y de sus subproductos*, indica que los ácidos grasos recuperados del residuo del café son casi incoloros y, por ende, apropiados para la manufactura de jabones. Heller señala que las dificultades de separación entre las ceras de los aceites y el residuo de café, hacen que la utilización de estos resulte antieconómica. Por ello propone la utilización de los residuos completos, mezclados con caolín, para producir pastas jabonosas que podrían ser útiles en tiempos de guerras. Sin embargo, Martinenghi, no conforme con la idea de

Heller, afirma la posibilidad de utilizar industrialmente los aceites del residuo del café en la manufactura del jabón.

2.12.1. Clarificación de la fracción lipídica del café

Dependiendo del proceso de extracción la mayoría de aceites obtenidos presentan color y compuestos considerados como impurezas que no aplican como ejemplo en la industria de alimentos. Por ende, fue necesario someter la fracción lipídica obtenida a un proceso de clarificación.

2.12.1.1. Agitación

“Se refiere al movimiento inducido de un material en una forma específica, generalmente, con un modelo circulatorio dentro de algún tipo de contenedor.”⁶

2.12.1.2. Filtración por vacío

Es una de las técnicas de separación más antiguas. En él se utilizará papel filtro con el sistema de vacío donde permitirá separar el adsorbente de la fracción lipídica de café clarificada.

En función de la finalidad de la filtración, se distingue entre filtración de separación o filtración clarificante. En el caso de la filtración de separación, se trata de recuperar un determinado sólido de un líquido (torta de filtrado) para seguir trabajando con el sólido. No es imprescindible que todas las partículas sean eliminadas del líquido. Contrariamente, en la filtración clarificante, el líquido se debe limpiar en lo posible completamente de componentes

⁶ *Agitación en reactores.* <http://www.taringa.net/posts/apuntes-y-monografias/8781978/Agitacion-en-Reactores.html> Consulta: 13 de enero de 2013.

indeseados o precipitados, para poder seguir trabajando con el líquido purificado.

La aplicación de vacío en el lado donde se recoge el filtrado o la aplicación de presión en la parte superior del filtro acelera la filtración y ayuda a la obtención de tasas de flujo más elevadas.

2.12.1.3. Destilación al vacío

“Su objetivo principal es separar una mezcla de varios componentes aprovechando sus distintas volatilidades. El objetivo es obtener el componente menos volátil, y el componente más volátil en forma pura”⁷

La destilación al vacío es un método de separación con valor económico alto. La rotaevaporación al vacío consiste en un motor eléctrico que produce el giro de un tubo con un ajuste esmerilado al que se acopla un matraz de fondo redondo que contiene la disolución. Dicho matraz se sumerge parcialmente en un baño de agua manteniendo el giro. Acoplado al sistema, se encuentra un refrigerante por el que circula un líquido, por lo general agua, que produce la condensación del disolvente que se recoge en un colector. El sistema está conectado a un circuito de vacío.

2.13. Extracción

La extracción es una operación unitaria de transferencia de materia basada en la disolución de uno o varios de los componentes de una mezcla (líquida o que formen parte de un sólido) en un disolvente selectivo. Se hace la

⁷ALAMBIQUES. *Destilación y tipos de destilación.*
http://www.alambiques.com/tecnicas_destilacion.htm. 06 de enero de 2013.

distinción entre la extracción líquido-líquido y la extracción sólido-líquido según que la materia a extraer esté en un líquido o en un sólido respectivamente. El número mínimo de componentes presentes en la extracción es tres.

2.13.1. Procesos de extracción

“Los procesos de extracción varían en función de la escala de producción, de la naturaleza y calidad de la materia prima y de la naturaleza del solvente. Los procesos de extracción pueden ser divididos en dos grupos”:⁸

- Procesos que dan como resultado un equilibrio de la concentración entre el soluto y el residuo.
- Procesos que agotan completamente la materia prima.

Los procesos que dan como resultado un equilibrio de la concentración son la maceración estática y la maceración dinámica. Los procesos que agotan completamente la materia prima son: la percolación, la reperlación y la extracción en contra corriente.

2.13.1.1. Extracción sólido-líquido

Separación de uno o varios de los componentes de una mezcla sólida mediante un disolvente líquido ajeno a la misma. Operación mediante la cual se extrae un componente soluble de un sólido mediante un solvente.

En la extracción sólido-líquido se acostumbra a trabajar por cargas o en semicontínuo o continua utilizando condiciones de operación por etapas en

⁸ SOBERANIS, Adrián *Evaluación de propiedades fisicoquímicas de la oleoresina de cardamomo (Elletteriacardamomum, L. Matton) obtenida a nivel laboratorio utilizando dos métodos de lixiviación a tres diferentes temperaturas.* Trabajo de graduación de Ing. Química. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2010. 33 p.

contacto continuo por la dificultad de manipulación del sólido que hay que someter a extracción.

El principal problema en la lixiviación es promover la difusión del soluto desde el interior del sólido hacia el líquido que lo rodea. La forma más eficaz de conseguirlo consiste en reducir el sólido al menor tamaño posible.

La extracción sólido-líquido generalmente se divide en 3 partes:

- Cambio de fase del soluto al disolverse en el disolvente.
- Difusión del soluto, a través del solvente por los poros del sólido y hacia la parte exterior de la partícula sólida.
- Transferencia del soluto, desde la solución en contacto con las partículas, hacia el seno de la solución.

Si el sólido presenta estructura celular (ejemplo los granos). Las paredes celulares suministran una resistencia adicional a la transferencia de masa. Por lo tanto la velocidad de extracción es más baja.

La velocidad de extracción se puede ver afectada por el tamaño de partícula, solvente de extracción, temperatura y agitación del fluido.

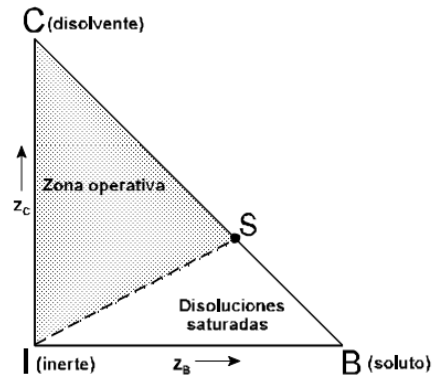
El método más sencillo de operar en extracción sólido-líquido es el de poner en contacto el sólido con el disolvente y separar luego la disolución formada del sólido residual insoluble. Esta operación se denomina: contacto simple. Si la cantidad total de disolvente que se va a utilizar se subdivide en varias fracciones y el sólido es extraído sucesivamente con cada una de ellas se denomina: contacto múltiple en corriente directa, lo que mejora la recuperación del soluto, pero en disoluciones relativamente diluidas. Se

obtienen una elevada recuperación del soluto y una disolución de elevada concentración cuando se lleva a cabo un contacto múltiple en contracorriente, en el que la disolución formada se pone en contacto con el sólido original, mientras que el sólido ya casi agotado es el que se pone en contacto con el disolvente puro. Por ende a medida que aumenta la complejidad de la operación aumenta su rendimiento, y por tanto su importancia como aplicación industrial. No obstante el contacto simple es el método preferido para trabajar en laboratorio cuando es necesario obtener parámetros del sistema.

Para llevar a cabo la extracción será necesario poner en contacto íntimo las dos fases hasta conseguir la transferencia de soluto de la mezcla original al disolvente. Una vez finalizada esta etapa de transporte de materia, se procede a la separación de fases, obteniéndose una mezcla de disolvente y soluto llamada: extracto y una mezcla de la que se ha extraído el soluto, denominada refinado, que estará formada por la fase sólida inerte con una parte de disolución retenida.

El análisis del proceso de extracción sólido-líquido, generalmente se lleva a cabo sobre un diagrama triangular, al tratarse de un sistema ternario, que a una presión y a una temperatura determinada se representa mediante un triángulo rectángulo isósceles.

Figura 8. Diagrama ternario extracción sólido-líquido



Fuente: *Transferencia de materia*. <http://fjarabo.webs.ull.es/Practics/Oba/ObaFiles/AMater.pdf>.

Consulta: 06 de enero de 2014.

En los vértices del triángulo se representan los componentes puros, reservándose el ángulo recto para el sólido inerte (I) y, en el sentido de las agujas del reloj, el disolvente líquido (C) y el soluto sólido (B). Los lados representan mezclas binarias de los componentes de los vértices correspondientes y los puntos interiores al triángulo representan mezclas ternarias. Cualquier punto del triángulo corresponde a una composición expresada en fracciones másicas (o molares): si se trata de una composición de la fase extracto se suele representar como (y_B, y_C) , mientras que si es una composición de la fase refinado se representa como (x_B, x_C) . Al operar en concentraciones fraccionales, cualquier punto de la fase refinado debe de cumplir:

$$x_I + x_B + x_C = 1$$

Mientras que para la fase extracto, al no haber inerte, se cumplirá que:

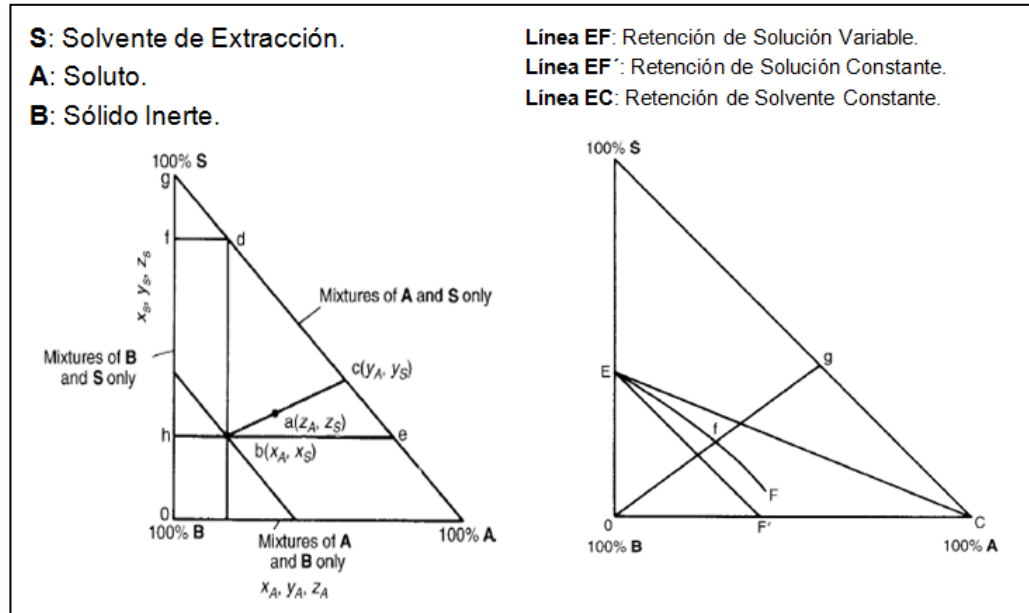
$$y_B + y_C = 1$$

Si el soluto no es totalmente soluble en el disolvente, existirá una concentración a la temperatura del sistema, representada por un punto tal como el S sobre el diagrama. Cualquier mezcla de inerte y disolución saturada se hallará situada sobre el segmento IS, que divide al diagrama ternario en dos zonas:

- La situada a la derecha del segmento IS, que representa a todas las mezclas en las cuales las disoluciones representadas están saturadas, ya que todos los puntos de esta zona representan fracciones del soluto mayores a los correspondientes valores de saturación.
- La situada a la izquierda del segmento IS, que representa a todas las mezclas en las cuales las disoluciones representadas no están saturadas, que todos los puntos de esta zona representan fracciones del soluto menores a los correspondientes valores de saturación.

En casi todas las extracciones sólido-líquido se obtiene una sola disolución no saturada, ya que el objetivo es conseguir una elevada recuperación del soluto o de producir un sólido inerte lo más libre posible de soluto. Siempre se operará con la suficiente cantidad de disolvente para obtener disoluciones no saturadas, es decir la zona operativa.

Figura 9. Diagrama de equilibrio (triángulo rectángulo)



Fuente: *extracción sólido-líquido*

https://www.google.com.gt/?gws_rd=cr&ei=08RZU92_IYK82wXo7IDoDQ#q=extracci%C3%B3n+sólido+líquido+diagrama+de+equilibrio+triángulo+rectángulo. Consulta: 24 de febrero de 2014.

2.13.1.1.1. Maceración

Proceso de extracción sólido-líquido donde el producto sólido posee una serie de compuestos solubles en el líquido extractante que son los que se pretende extraer.

El proceso de maceración consiste en poner en contacto la materia prima y el solvente, durante cierto tiempo. Se trata de un proceso que da como resultado un equilibrio de concentración entre la materia prima y el solvente, y depende de factores que están unidos a la materia prima, como por ejemplo, su naturaleza, el tamaño de partícula, su contenido de humedad y cantidad y

factores que están relacionados con el solvente, por ejemplo: la selectividad y la cantidad

Existen 2 tipos de maceración

- Maceración estática: la materia prima se pone en contacto con el solvente, sin movimiento.
- Maceración dinámica: la materia prima se pone en contacto con el solvente, en movimiento.

2.13.1.2. Percolación

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

“El humedecimiento de la materia prima aumenta la porosidad de la pared celular y facilita la difusión de las sustancias extraíbles hacia el exterior de las células. Una de las desventajas es el alto consumo de solvente”.⁹

2.13.1.3. Lixiviación

La palabra lixiviación viene del latín: *Lixivia*, ae sustantivo femenino que significa lejía. Los romanos usaban este término para referirse a los jugos que destilan las uvas antes de pisarlas, o las aceitunas antes de molerlas. En la actualidad, se denomina lixiviación, al lavado de una sustancia pulverizada para extraer las partes solubles.

⁹ SOBERANIS, Adrián. *Evaluación de propiedades fisicoquímicas de la oleoresina de cardamomo (Elletteriocardamomum, L. Matton) obtenida a nivel laboratorio utilizando dos métodos de lixiviación a tres diferentes temperaturas.* p. 45

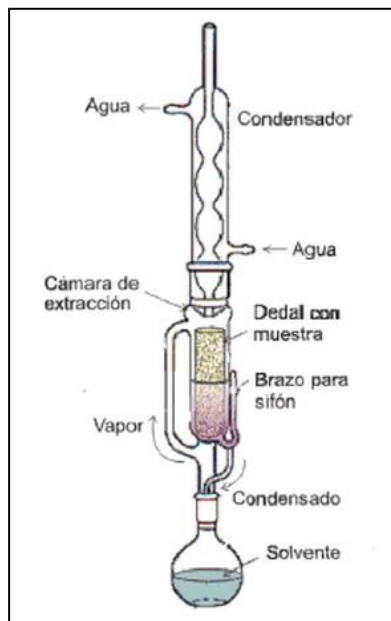
La lixiviación natural es espontánea, generalmente se le llama lixiviación cuando la fracción fluida abandona espontáneamente al sólido del cual forma parte. Un ejemplo: cuando la carne se cuelga para que las fibras musculares se estiren por su propio peso y se drene la sangre. Se refiere a un proceso natural al fenómeno de desplazamiento de sustancias solubles o dispersables causado por el movimiento de agua en el suelo.

Generalmente, la lixiviación química en literatura se conoce como un proceso por el cual se extrae uno o varios solutos de un sólido, mediante la utilización de un disolvente líquido. Ambas fases entran en contacto íntimo y el soluto o los solutos pueden difundirse desde el sólido a la fase líquida, lo que produce una separación de los componentes originales del sólido.

2.13.1.4. Extracción soxhlet

Uno de los extractores sólido-líquido más usados a escala laboratorio es el extractor soxhlet. Donde el disolvente extractor hierve en el balón y, después de condensarse con agua fría, cae sobre el recipiente que contiene el sólido con el soluto extraído. La mezcla se devuelve al balón, donde se va concentrando el soluto a medida que se repite el ciclo.

Figura 10. **Equipo de extracción soxhlet**



Fuente: FRANCO, Anderson; MARTÍNEZ, Pedro. *Experimentos de química orgánica*.
<http://books.google.com.gt/books?id=Otm5wsEeKYEC&pg=PA71&lpg=PA71&dq=extraccion+soxhlet+fundamentoh9oCQCg&sqj=2&ved=0CD0Q6AEwAw#v=onepage&q&f=false>. Consulta: 06 de marzo de 2013. p.71.

El extractor consta de cuatro partes o unidades principales, siendo estas: condensador, unidad de extracción, matraz y dedal; adicionalmente se necesitan mangueras y plancha de calentamiento.

2.13.2. Variables del proceso de extracción

Para que una extracción sea eficaz es necesario considerar variables las cuales al controlarlas se garantizará que el proceso sea eficiente sin correr ningún riesgo de operación.

2.13.2.1. Tamaño de la materia prima

El tamaño de la materia prima debe ser pequeño, para que el área de contacto sea mayor con el solvente cuando se realice la extracción sólido-líquido.

Debe considerarse no utilizar en el proceso de extracción las partículas llamadas finos debido a que dificulta la separación de los sólidos con el solvente. El tamaño de la materia prima no debe ser muy grande debido a que el rendimiento de extracción disminuirá ya que existe menor área de contacto entre el sólido y el solvente.

2.13.2.1.1. Porosidad del grano de café

Durante el tostado el grano de café se vuelve poroso, lo cual permite que estos empiecen a absorber el agua caliente y liberen los gases del café. La estructura fibrosa del grano lo convierte en una secante que absorbe el agua y ayuda a la posterior extracción de los compuestos solubles.

El agua absorbida se difunde al interior del grano solubilizando los sólidos solubles, provocando un aumento rápido de la concentración, creando un gradiente de transferencia de masa y a medida que el gradiente es más grande, mayor será el rendimiento de extracción.

2.13.2.2. Tiempo de extracción

El tiempo óptimo de extracción se determina cuando se separan todos los compuestos de interés del sólido. No es necesario que la extracción se realice mayor al tiempo de extracción óptimo debido a que aumenta el costo de

energía. Además que realizar la extracción durante más tiempo no aumenta el rendimiento.

2.13.2.3. Agitación

El objetivo principal es que se desplace el equilibrio en el sentido de saturación del solvente. El movimiento del solvente fuerza a tener contacto con el sólido y en cada ciclo se alcance un nuevo punto de equilibrio aumentando la eficiencia.

2.13.2.4. Naturaleza del solvente

El solvente óptimo será el que logre obtener un mayor rendimiento del compuesto de interés. Generalmente, los solventes más utilizados son los alcoholes alifáticos de hasta 3 carbonos

2.13.2.5. Temperatura

El aumento de temperatura facilita la disolución de los sólidos extraíbles. Sin embargo, debe de monitorearse constantemente debido a que el aumento de temperatura puede causar la pérdida de sustancias volátiles.

2.13.2.6. Monitoreo del proceso

Durante el proceso de la extracción soxhlet será necesario medir de cada ciclo.

- Densidad: el cambio de densidad determinara el avance de la extracción realizada

- Porcentaje de humedad: contenido de humedad en cada ciclo ayudará a determinar qué cantidad de agua y de fracción lipídica existe en el extracto
- Sólidos totales disueltos: se determinará los sólidos totales disueltos en cada ciclo por medio de muestras representativas.

2.14. Características físicas y químicas de los reactivos a usar

Las propiedades físicas y químicas permiten conocer las condiciones a las que pueden ser sometidos los reactivos durante la operación sin tener cambios físicos y químicos según su naturaleza.

2.14.1. Solventes

El hexano es un solvente orgánico de bajo punto de ebullición, que mayor se adecúa para realizar la extracción. Se define como un líquido incoloro, volátil, con olor característico. Es insoluble en agua y más ligero que ella. Soluble en gran parte de los disolventes orgánicos, tales como el éter y cloroformo. Actúa como disolvente de ceras, grasas, resinas, etc. El vapor es más pesado que el aire, no visible y se propaga a ras del suelo, por lo que puede inflamarse a distancia.

El hexano es un producto estable, en condiciones normales de empleo. El calor puede ser causa de inestabilidad química favoreciendo su descomposición, en la que se desprenden gases y vapores tóxicos como es el monóxido de carbono. Puede reaccionar con agentes oxidantes fuertes, descomponiéndose y siendo causa de incendio y explosión.

2.14.2. Propiedades físicas

- Peso molecular: 86,17 g/mol.
- Punto de ebullición: 68,7 °C.
- Punto de fusión:-95 °C.
- Punto de inflamación:-21 °C.
- Temperatura de autoignición: 261 °C.
- Densidad relativa: (agua=1): 0.66.
- Densidad de vapor:(aire = 1): 3.
- Solubilidad en agua: ninguna.
- Riesgo de explosión: es un producto muy inflamable y volátil, que puede formar mezclas explosivas con el aire, sobre todo en recipientes cerrados que contengan residuos del producto. El calor produce un aumento de presión, con riesgo de inflamación y explosión, por ello no debe exponerse a llamas abiertas o chispas
- Almacenamiento: los recipientes que se usen serán de hierro, acero, aluminio, etc. Para pequeñas cantidades pueden usarse recipientes cerrados de vidrio.

2.14.3. Adsorbente

Sustancia capaz de retener átomos o moléculas de otra sustancia que se encuentra en otra fase.

2.14.3.1. Carbón activado

El carbón activado es un material que, como su nombre lo indica es materia carbonizada la cual puede ser de origen vegetal o mineral, se le llama

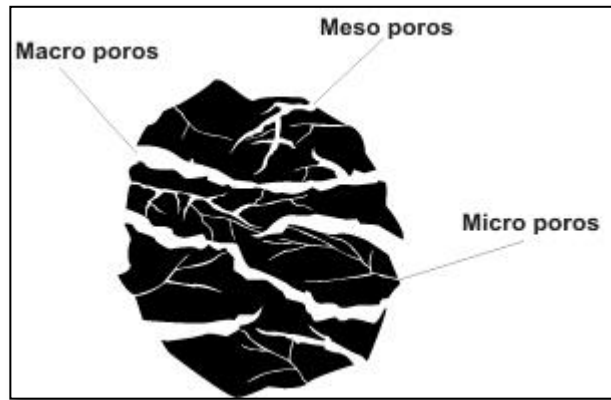
activado debido a que toda la materia carbonizada tiene propiedades adsorbentes.

El carbón poroso que se produce artificialmente de manera que exhiba un elevado grado de porosidad y una alta superficie interna. Estas características junto a la naturaleza química de los átomos de carbono que lo conforman, le dan la propiedad de atraer y atrapar de manera preferencial ciertas moléculas del fluido que lo rodean. Pero el estado de activación que se da a este tipo especial de carbón le confiere propiedades especiales que lo hacen tener una gran capacidad para adsorber ciertas sustancias.

La adsorción es diferente a la absorción, ya que absorción implica el paso de una sustancia, inicialmente en suspensión, a la parte interna del material absorbente. Adsorción es diferente, en el sentido de que el material removido se adhiere físicamente o químicamente a la superficie del material adsorbente.

La adsorción se cree que implica fuerzas de atracción del tipo dipolo/dipolo, fuerzas de London o fuerzas de Van Der Waals, entre las moléculas de la sustancia adsorbida y de la superficie del material que adsorbe estas. El carbón activado, es un compuesto covalente y, por lo tanto, muestra preferencia por moléculas covalentes; es decir, por moléculas que tienden a ser no iónicas y poco polares. Tal es el caso de la mayoría de los compuestos orgánicos. Por lo tanto, el carbón activado se considera un adsorbente casi universal de moléculas orgánicas.

Figura 11. **Carbón activado**



Carbotecnia.info *Carbón activado*. <http://elblogverde.com/carbon-activado/>. Consulta 21 de enero de 2013.

Existen en el mercado una amplia variedad de tipos de carbón activado, para usos específicos. Las aplicaciones de los diferentes tipos de carbón pueden ser para aspectos tales como:

- Remoción de color, olores y sabores indeseables en líquidos y bebidas como: refrescos, cerveza, vinos, jugos, vinagre, etc.
- En la clarificación de jarabes y azúcar refinada.
- En mejorar las propiedades de diferentes líquidos en la industria de alimentos.
- En la remoción de contaminantes en aguas potables y residuales tratadas y no tratadas.
- En la remoción de contaminantes en emisiones gaseosas.
- En la filtración y acondicionamiento de aire en lugares públicos y cerrados.
- La versatilidad de este tipo de adsorbente, que hace más adaptable un tipo de carbón que otro para un proceso determinado, se debe a sus

propiedades internas y la más importante de ellas es el tamaño o diámetro de los capilares del carbón activado.

De acuerdo al tamaño de poro, el carbón puede ser catalogado de acuerdo al tamaño de los poros en su estructura. Estos poros se clasifican de acuerdo a su tamaño en:

- Microporos: son aquellos que tienen un tamaño promedio menor a 2 nanómetros (1 nanometro=1 nm=10⁻⁹ mts=10⁻⁷ cm).
- Mesoporos: los que tienen un diámetro de 2-50 nm.
- Macroporos: los que tienen un diámetro mayor a 50 nm

Los macroporos se encuentran, inicialmente en el material antes de su activación. Los microporos y mesoporos son formados en el proceso de activación y son los que le dan propiedades adsortivas al carbón.

2.14.3.2. Clasificación del carbón

“Por su presentación, el carbón puede ser en polvo o granular. Cada presentación tiene sus ventajas e inconvenientes. Si se emplea carbón en polvo este se mezcla directamente con el líquido a tratar y después se separa del fluido por sedimentación y/o filtración. El carbón granular consiste de partículas de tamaño de entre 1-3 milímetros y este se coloca dentro del cuerpo de un tanque de manera similar a como se coloca la resina o la arena en un tanque, donde es retenido mientras el agua pasa a través del lecho de carbón activado. Entre el carbón activado en polvo y el granular, este último es el más

ampliamente empleado, ya que es más fácil manejarlo para regenerarse una vez agotado, o para desecharse".¹⁰.

- Clasificación de clarificantes:
 - Clarificantes minerales: bentonita, tierras de diatomeas.
 - Clarificantes vegetales: tanino enológico, carbón activado.

2.15. Métodos cromatográficos

Se caracterizan por separar componentes de una mezcla mediante una columna adsorbente dentro de un sistema fluyente.

2.15.1. Cromatografía gaseosa

El primer trabajo en el que se hace pasar una fase móvil gaseosa a través de una columna data de 1951, dando lugar a la técnica conocida como cromatografía de gases. La combinación de altas resoluciones, sensibilidad y tiempos de análisis cortos la ha convertido una técnica de rutina usada en la mayoría de los laboratorios químicos.

A menudo la cromatografía de gases se emplea para confirmar de la presencia o ausencia de un compuesto en una muestra determinada. Esto se lleva a cabo por comparación del cromatograma de la sustancia pura con el de la muestra, siempre que las condiciones para la obtención de ambos sean idénticas.

¹⁰ *Tratamiento con carbón activado.*
<http://www.oocities.org/edrochac/sanitaria/carbon6.pdf>. Consulta: 22 de enero de 2013.

Por otra parte, también se utiliza la cromatografía de gases para establecer la cantidad de componentes individuales presentes en una muestra, empleando curvas de calibración de los correspondientes patrones.

En cromatografía de gases, la muestra se inyecta en la fase móvil, la cual es un gas inerte (generalmente He). En esta fase, los distintos componentes de la muestra pasan a través de la fase estacionaria que se encuentra fijada en una columna. Actualmente, las más empleadas son las columnas capilares. La columna se encuentra dentro de un horno con programación de temperatura. La velocidad de migración de cada componente (y en consecuencia su tiempo de retención en la columna) será función de su distribución entre la fase móvil y la fase estacionaria. Cada soluto presente en la muestra tiene una diferente afinidad hacia la fase estacionaria, lo que permite su separación.

La cromatografía de gases es una técnica separativa que tiene la cualidad de conseguir la separación de mezclas muy complejas. Pero una vez separados, detectados, e incluso cuantificados todos los componentes individuales de una muestra problema, el único dato de que disponemos para la identificación de cada uno de ellos es el tiempo de retención de los correspondientes picos cromatográficos.

Los ácidos grasos se pueden determinar utilizando la técnica de cromatografía de gas-líquido. Únicamente se debe de poseer el estándar junto al tiempo de retención como se menciona anteriormente.

2.16. Índices de calidad

Se determinarán parámetros de calidad, como el índice de acidez, índice de yodo, índice de saponificación, materia insaponificable, presencia de gomas, entre otros.

2.16.1. Determinación de color

“El color se define como la sensación visual que se origina por la estimulación de la retina del ojo”.¹¹ Debido a las distintas percepciones de color según el observador se crearon sistemas de medición para poder cuantificarlo y expresarlo numéricamente, cuyo principio está basado en la cantidad de luz reflejada por el objeto.

2.16.1.1. Método C I E L*a*b*

En general, la definición de sistema de gestión de color se aplica a quienes usan como referencia el sistema estandarizado de medida de color Comisión Internacional de Iluminación (CIE) utilizando los perfiles ICC aceptados internacionalmente. Un perfil ICC es un archivo informático que describe matemáticamente la manera en que un dispositivo reproduce los colores. El perfil contiene una tabla de valores con una doble información por una parte los valores numéricos de cada color y por otra, una equivalencia para cada color en un espacio de referencia e independiente de dispositivo.

El método C I E L*a*b* es un modelo cromático usado normalmente para describir todos los colores que puede percibir el ojo humano. Fue desarrollado

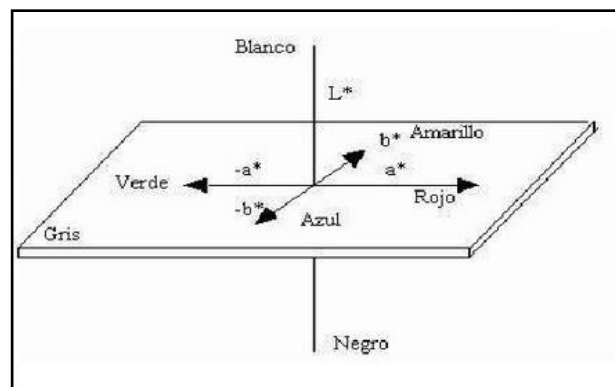
¹¹ La guía metas. *Medición de color*. <http://www.metas.com.mx/guiametas/la-guia-metas-09-07-medicion-de-color.pdf>. Consulta: 06 de febrero de 2013.

específicamente con este propósito por la Comisión Internacional de Iluminación. El modelo está construido matemáticamente para ser utilizado como un sistema de referencia para establecer coherencias entre otros sistemas de color.

2.16.1.1.1. Parámetros

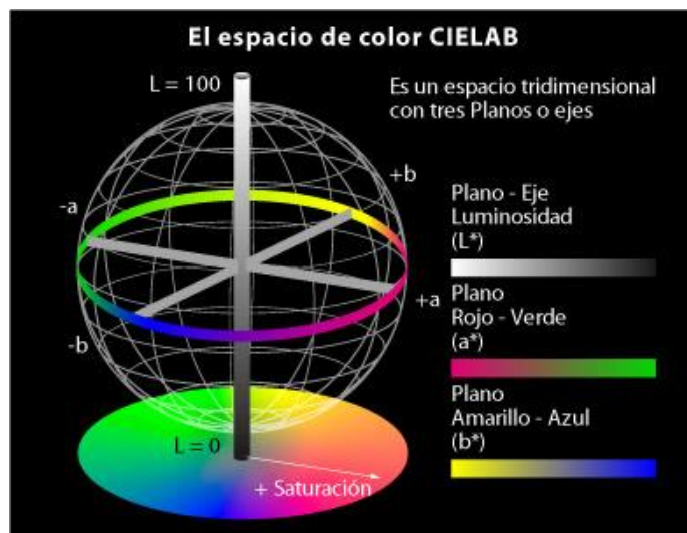
- L^* : luminosidad de color. $L^* = 0$ rendimientos negros. $L=100$ indica blanca.
- a^* : posición entre magenta y verde. Valores positivos indican magenta y valores negativos indican verde.
- b^* : posición entre amarillo y azul. Valores positivos indican amarillo y valores negativos indican azul.

Figura 12. Modelo C I E $L^*a^*b^*$



Fuente: MOLINA, Luis; GARCÍA, Oswaldo; GARCÍA, Miguel. *Modelo C.I.E. $L^*a^*b^*$* .
<http://www.slideshare.net/rhcpluis14/modelo-cie-lab-2855839>. Consulta: 25 de enero de 2013.

Figura 13. **Modelo de color C I E L*a*b***



Fuente: WESTLAND, Stephen. *Espacio de Color*.

http://www.gusgsm.com/espacio_color_cie_lab. Consulta: 25 de enero de 2013.

2.17. Perfil de ácidos grasos e índices de calidad a partir de la fracción lipídica de grano tostado de café genuino antigua

A continuación se presentan los resultados de los índices de calidad y el perfil de ácidos grasos realizados a la fracción lipídica de café obtenida del café genuino antigua. La investigación fue realizada por Lourdes María Ramírez Ovalle en el 2006.

Las pruebas se realizaron a grano de café guatemalteco, por lo que será posible establecer una relación entre estas pruebas y las que se realizarán a la fracción lipídica de café a partir del residuo sólido de café.

Tabla IX. **Índices de calidad a fracción lipídica de café obtenida de café genuino antigua**

Prueba	Resultado
Índice de acidez, en porcentaje de ácidos grasos	02,992
Índice de yodo	96,500
Índice de peróxidos, en miliequivalentes de oxígeno peróxido por gramo de gramos de muestra	0,749
Índice de saponificación, en miligramos de hidróxido de potasio (KOH) por gramo de muestra	286,100
Índice de DOBI	0,025
Carotenos, en ppm por gramo de muestra	38,032
Materia insaponificable, en porcentaje	1,680
Valor de fósforo, en ppm por gramo de muestra	334,700
Valor de fosfátidos en ppm por gramo de muestra	10 039,800
Valor de p-Anisidina en ppm por gramo de muestra	42,260
Valor de totox	86,018
Ceras, en ppm por gramo de muestra	502,660
Jabón, en ppm por gramo de muestra	353,950
Gomas, en porcentaje	72,840
Metales pesados	No se encontraron
Prueba de inflamabilidad	Positiva

Fuente: RAMÍREZ, Lourdes. *Evaluación del rendimiento de extracción y caracterización del aceite fijo de café tostado tipo genuino antigua obtenido por el proceso de prensado*. p. 119.

Tabla X. **Ácidos grasos saturados determinados experimentalmente al aceite de café tipo genuino antigua**

Nombre común	Nombre IUPAC	Fórmula	Porcentaje
Ácido palmítico	Ácido hexadecanoico	$C_{15}H_{31}COOH$	35,33
Ácido esteárico	Ácido octadecanoico	$C_{17}H_{35}COOH$	7,72
Ácido araquídico	Ácido eicosanoico	$C_{19}H_{39}COOH$	2,95

Fuente: RAMÍREZ, Lourdes. *Evaluación del rendimiento de extracción y caracterización del aceite fijo de café tostado tipo genuino antigua obtenido por el proceso de prensado*. p. 119.

Tabla XI. **Ácidos grasos monoinsaturados determinados experimentalmente al aceite de café genuino antigua**

Nombre común	Nombre IUPAC	Fórmula	Porcentaje
Ácido Oléico	Ácido cis-9-octadecenoico	$CH_3(CH_2)_7 CH (CH_2)_7 COOH$	7,63

Fuente: RAMÍREZ, Lourdes. *Evaluación del rendimiento de extracción y caracterización del aceite fijo de café tostado tipo genuino antigua obtenido por el proceso de prensado*. p. 119.

Tabla XII. **Ácidos grasos poliinsaturados determinados experimentalmente al aceite de café genuino antigua**

Nombre común	Nombre IUPAC	Fórmula	Porcentaje
Ácido linoleico	Ácido cis, -9, cis-12-octadecenoico	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{CH}:\text{CH}\text{CH}_2$ $\text{CH}:\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	44,39
Ácido linolenico	Ácido cis, cis,cis - 9,12,15 -octadecenoico	$\text{CH}_{17}\text{H}_{31}\text{COOH}$	1,50

Fuente: RAMÍREZ, Lourdes. *Evaluación del rendimiento de extracción y caracterización del aceite fijo de café tostado tipo genuino antigua obtenido por el proceso de prensado*. p. 119.

Tabla XIII. **Total de ácidos presentes determinados experimentalmente al aceite de café genuino antigua**

Ácido grasos	Total (%)
Saturados	46,00
Monoinsaturados	7,63
Poliinsaturados	45,89
Sin identificar	0,48

Fuente: RAMÍREZ, Lourdes. *Evaluación del rendimiento de extracción y caracterización del aceite fijo de café tostado tipo genuino antigua obtenido por el proceso de prensado*. p. 119.

3. DISEÑO METODOLÓGICO

3.1. Variables

Como diseño experimental del siguiente trabajo se presenta la realización de 40 extracciones mediante la técnica soxhlet. Se hicieron 5 corridas por cada fuente de origen de recolección de la materia prima: tres de residuos sólidos de restaurantes y una planta para la obtención de café soluble. Para cada extracción se utilizó como solvente el hexano. Obtenido el extracto hexánico se procedió a clarificar la fracción lipídica mediante el uso de carbón activado. En este proceso se utilizaron variables de tiempo, temperatura, número de ciclos y agitación para observar el comportamiento del rendimiento de la fracción lipídica clarificada, la cual se obtuvo mediante rotaevaporación.

Obtenida la fracción lipídica de mayor rendimiento de los tres restaurantes y de la planta para obtención de café soluble se procedió a determinar el color de cada fracción lipídica clarificada obtenida, el perfil de ácidos grasos mediante cromatografía de gases y la determinación de los índices de calidad.

Para el desarrollo del siguiente trabajo es necesario el análisis de variables dependientes e independientes de operación de cada una de las fases detalladas a continuación:

- Fase 1: extracción sólido-líquido de la fracción lipídica de café a partir de residuo sólido de café espresso.

Tabla XIV. **Variables dependientes**

No	Variable	Dimensional	Factor Potencial de diseño		Factores Perturbadores	
			Constantes	Variables.	Controlante	Ruido
Extracción de fracción lipídica de café						
1	Sólidos disueltos	g		X		X
2	Tiempo de extracción	minutos		X	X	

Fuente: elaboración propia.

Tabla XV. **Variables independientes**

No	Variable	Dimensional	Factor Potencial de diseño		Factores Perturbadores	
			Constante.	Variable	Controlante	Ruido
Extracción de fracción lipídica de café						
1	Masa muestra	g	X		X	
2	Solvente: Hexano	mL	X		X	
3	Humedad de residuo sólido	%		X		
4	Temperatura de extracción	°C	X		X	
5	Tamaño partícula residuo sólido	µm		X	X	

Fuente: elaboración propia.

Fase 2: clarificación de la fracción lipídica de café obtenido a partir de residuo sólido de café espresso.

Tabla XVI. **Variables dependientes**

No	Variable	Dimensional	Factor potencial de diseño		Factores perturbadores	
			Constante	Variable.	Controlante	Ruido
Clarificación de la fracción lipídica de café						
1	Fracción lipídica	%		X		X
2	Tamaño de partícula residuo sólido	µm		X	X	

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVII. **Variables independientes**

No	Variable	Dimensional	Factor potencial de diseño		Factores perturbadores	
			Constante	Variable	Controlante	Ruido
Clarificación de la fracción lipídica de café						
1	Tiempo de agitación	min	X		X	
2	Velocidad de agitación	RPM	X		X	
3	Porcentaje de carbón activado	%		X	X	
4	Temperatura durante la agitación	°C	X		X	
5	Fuente de residuo sólido de café	Número	X		X	

Fuente: elaboración propia.

3.2. Delimitación de campo de estudio

- Campo de estudio: extracciones industriales
- Área de estudio: reutilización de residuos bioquímicos
- Línea de investigación: extracción sólido-líquido de la fracción lipídica del residuo de café para dar inicio a desarrollar nuevos biomateriales de ingeniería.
- Proceso: realización de 40 extracciones sólido-líquido mediante técnica soxhlet usando como solvente hexano, posteriormente clarificación de la fracción lipídica utilizando carbón activado como adsorbente, filtrado y destilación al vacío del mismo. Su caracterización se realizó mediante análisis de perfil de ácidos grasos por cromatografía de gases, determinación de los índices de calidad y determinación de color por medio del método $CIE L^*a^*b^*$ de la fracción lipídica clarificada.
- Material de estudio: residuos sólidos de café espresso y residuos sólidos de una planta para obtención de café soluble.
- Ubicación: la extracción sólido-líquido y clarificación de la fracción lipídica se realizó en el Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales (LIECVE) Sección Química Industrial del Centro de Investigaciones de Ingeniería. La cromatografía gaseosa para determinar el perfil de ácidos grasos y los índices de calidad se realizaron en el laboratorio de fisicoquímica de una planta de elaboración de aceites comestibles.

- **Clima:** después de realizada la lixiviación para generar café bebible, los residuos sólidos de café espresso contienen alto porcentaje de humedad al igual que los residuos sólidos de café de planta para obtención de café soluble, debido a que ambos residuos tienen contacto con agua. Los residuos sólidos de café son orgánicos y contienen alto porcentaje de oxidación, por lo tanto debe refrigerarse si no está seco. El residuo sólido seco puede almacenarse con menor riesgo de oxidación a temperatura ambiente debidamente cerrado.

3.3. Recursos humanos disponibles

- **Persona que realiza el estudio:** Diana Gabriela del Rosario Jó Hernández
- **Asesorado por:** ingeniero químico: Cesar Alfonso García Guerra. Colegiado No. 145
- **Coasesorado por:** ingeniero químico: Mario José Mérida Meré. Colegiado No. 1411

3.4. Recursos materiales disponibles

La investigación se realizó en el Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales (LIEXVE) Sección Química Industrial del Centro de Investigaciones de Ingeniería, por lo que se hará uso de los equipos, cristalería y reactivos del mismo.

- Secado de materia prima:
 - Equipo
 - Secador de bandejas de flujo transversal

Figura 14. **Secador de bandejas de flujo transversal**



Fuente: Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales USAC, (LIEEXVE).

- Balanza
- Molido y tamizado de residuo obtenido de planta para obtención de café soluble
 - Equipo
 - Set de tamices

Figura 15. **Set de tamices**



Fuente: Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales USAC, (LIEXVE).

- Agitador de tamices
- Trituradora

Figura 16. **Trituradora**



Fuente: Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales USAC, (LIEXVE).

- Extracción de fracción lipídica de café
 - Equipo
 - Condensador
 - Unidad de extracción
 - Matraz 500 mililitros
 - Dedal
 - Plancha de calentamiento
 - Perlas de ebullición

Figura 17. **Equipo de extracción soxhlet**



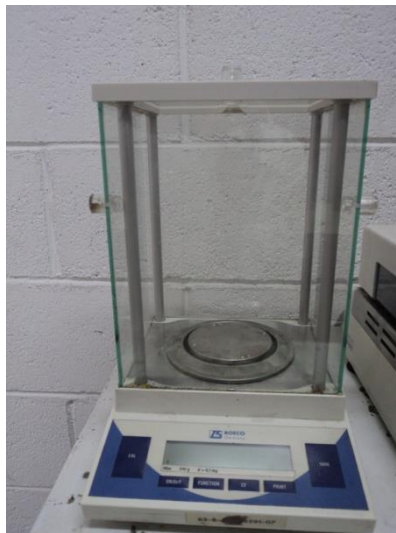
Fuente: Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales USAC, (LIEXVE).

- Reactivos
 - Hexano 375 mililitros
 - Agua fría para condensador

- Cristalería
 - Probeta 300 mililitros
 - Micropipeta 1 mililitros
 - Beacker 300 mililitros
 - Embudo de vidrio
 - Tubos de vidrio

- Sólidos totales disueltos
 - Equipo
 - Balanza analítica
 - Balanza de humedad

Figura 18. **Balanza de humedad**



Fuente: Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales USAC, (LIEXVE).

- Platos para balanza de humedad

Figura 19. **Platos para balanza**



Fuente: Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales USAC, (LIEXVE).

- Cristalería
 - Picnómetro
- Material adicional
 - Jeringas
 - Mangueras
- Clarificación de fracción lipídica de café
 - Equipo
 - Agitador magnético
 - Balanza analítica
 - Condensador
 - Plancha de calentamiento

- Filtración al vacío
 - Bomba de vacío
 - Papel filtro Whattman

Figura 20. **Bomba de vacío**



Fuente: Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales USAC, (LIECVE).

Figura 21. **Equipo de destilación al vacío**



Fuente: Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales USAC, (LIECVE).

- Cristalería
 - Beacker 500 mililitros
 - Espátula
 - Earlenmeyer
- Reactivos
 - Carbón activado
- Determinación de porcentaje de cenizas
 - Equipo
 - Mufla

Figura 22. **Mufla**



Fuente: Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales USAC, (LIEXVE).

- Cristalería
 - Crisoles
 - Desecador

Figura 23. **Desecador**



Fuente: Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales USAC, (LIEXVE).

- Determinación color
 - Equipo
 - Espectrofotómetro

Figura 24. **Espectrofotómetro**



Fuente: Laboratorio de una empresa alemana dedicada a fabricación de tintas para impresión.

- Papel filtro whatman
- Perfil de ácidos grasos
 - Equipo
 - Cromatógrafo de gas
 - Balanza analítica
 - Plancha de calentamiento
 - Jeringa para cromatografía
 - Papel filtro Whatman No. 1
 - Cristalería
 - Beacker de 100 mililitros
 - Balón aforado de 25 mililitros y 1000 mililitros.
 - Pipetas Pasteur
 - Viales de vidrio
 - Pipetas serológicas 5 mililitros.

- Reactivos
 - Aire grado cero
 - Nitrógeno ultra alta pureza
 - Hidrógeno ultra alta pureza
 - Solución de hidróxido de sodio 20 gramos. en 100 mililitros de metanol
 - Trifloruro de boro
 - Heptano
 - Solución saturada de cloruro de sodio
 - Sulfato de sodio anhidro
 - Trifloruro de Boro
 - Heptano

- Índices de calidad
 - Índice de acidez

 - Equipo
 - Soporte
 - Pinzas para bureta
 - Agitador magnético

 - Cristalería
 - Bureta

- Reactivos
 - Alcohol etílico 95 por ciento
 - Fenolftaleína 1 por ciento
 - Hidróxido de sodio 0, 25 Normal

- Índice de yodo

- Cristalería
 - Earlenmeyer 100 mililitros
 - Earlenmeyer 250 mililitros
 - Pipetas

- Reactivos
 - Cloroformo
 - Yoduro de potasio 15 Normal
 - Almidón soluble
 - Tiosulfato de Sodio 0,1Normal
 - Agua desmineralizada

- Índice de peróxidos

- Equipo
 - Plancha de calentamiento
 - Balanza analítica

- Cristalería
 - Pipeta
 - Earlenmeyer

- Reactivos
 - Ácido acético 60 por ciento
 - Isoctano 40 por ciento
 - Yoduro
 - Tiosulfato de Sodio 0,01Normal
 - Almidón al 1 por ciento en agua

- Índice de saponificación

- Equipo
 - Plancha de calentamiento
 - Balanza analítica

- Cristalería
 - Beacker 50 mililitros
 - Bureta
 - Equipo soxhlet

- Reactivos
 - Alcohol
 - Fenolftaleína
 - Ácido clorhídrico

- Índice de DOBI

- Equipo
 - Espectrofotómetro 270 nanómetros

- Cristalería
 - Balón 10 mililitros

- Reactivos
 - Isoctano

- Materia Insaponificable

- Equipo
 - Balanza analítica

- Cristalería
 - Ampolla de separación

- Soxhlet 250 mililitros
- Reactivos
 - Solución de hidróxido de potasio
 - Hidróxido de sodio
 - Éter de petróleo
- Valor de fósforo
- Equipo
 - Turbidímetro
- Cristalería
 - Balón 50 mililitros
- Reactivos
 - Acetona
- Valor de P-anisidina
- Equipo
 - Balanza analítica

- Cristalería
 - Balón 25 mililitros
 - Pipeta 0,5 mililitros

- Reactivos
 - Isoctano
 - Anisidina 1 mililitro
 - Espectrofotómetro 350 nanómetros

- Presencia de ceras

- Equipo
 - Turbidímetro
 - Balanza analítica

- Cristalería
 - Tubos de ensayo

- Reactivos
 - Acetona

- Presencia de jabón

- Cristalería
 - Earlenmeyer 500 mililitros
 - Bureta graduada 100 mililitros

- Reactivos
 - Acetona al 98 por ciento
 - Ácido clorhídrico
 - Azul de bromofenol

- Porcentaje de humedad

- Equipo
 - Balanza de Humedad

- Presencia de gomas

- Equipo
 - Balanza analítica
 - Centrífuga
 - Plancha

- Cristalería
 - Beacker 400 mililitros
 - Pipeta 10 mililitros

- Tubo de ensayo
- Reactivos
 - Ácido fosfórico
 - Hexano

3.5. Técnica cualitativa o cuantitativa

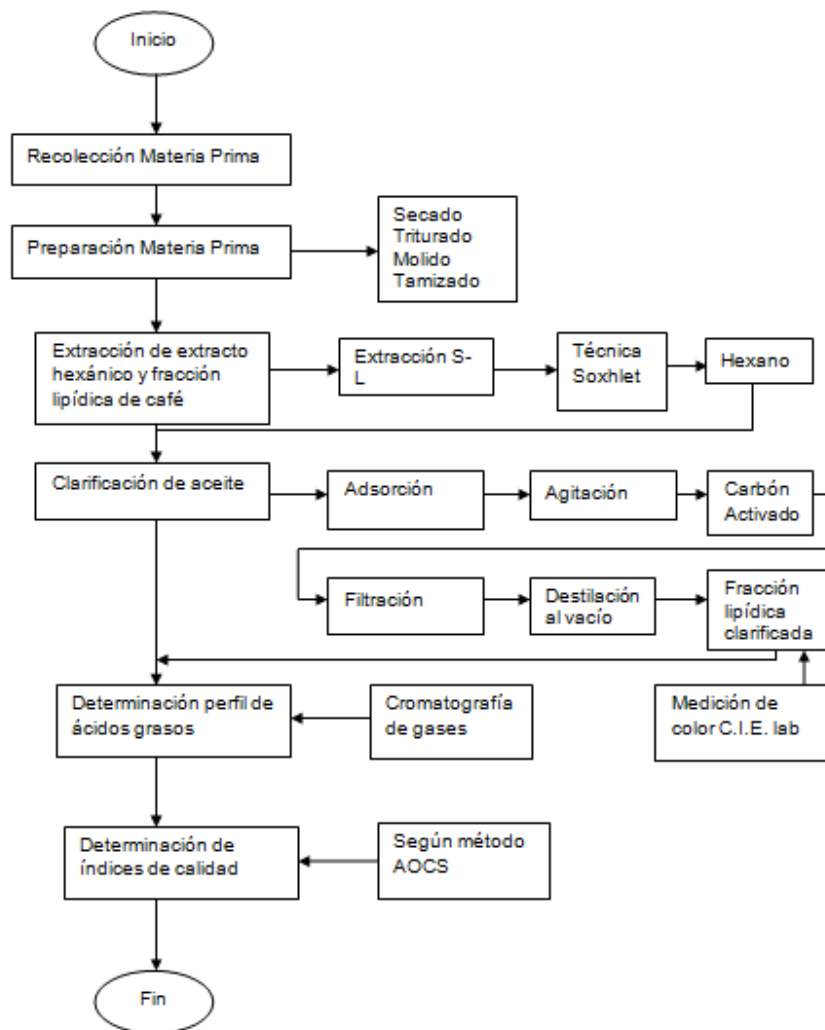
Para fines de la investigación se llevaron a cabo técnicas cuantitativas. El análisis de perfil de ácidos grasos por cromatografía de gases son resultados cuantificables que proporcionaron información elemental para la caracterización de la fracción lipídica obtenida. La cantidad de fracción lipídica disuelta durante la extracción conlleva un monitoreo de densidad, el cual proporciona valores cuantitativos que ayudaron al cumplimiento de los objetivos y determinación de condiciones óptimas para una buena ejecución de la parte experimental de la investigación. La determinación de índices de calidad proporcionaron datos cuantitativos, los cuales fueron determinantes para conocer si la fracción lipídica de café obtenida cumple con estándares de calidad para futuras aplicaciones. El grado de color de la fracción lipídica se obtuvo mediante el método C I E $L^*a^*b^*$, el cual proporcionó datos matemáticos (coordenadas).

Las técnicas cualitativas, también se realizaron como parte de la experimentación de la investigación, el criterio del investigador fue crucial para determinar el nivel de decoloración que se requirió de la fracción lipídica y la cantidad de carbón activado a utilizar.

3.5.1. Diseño general

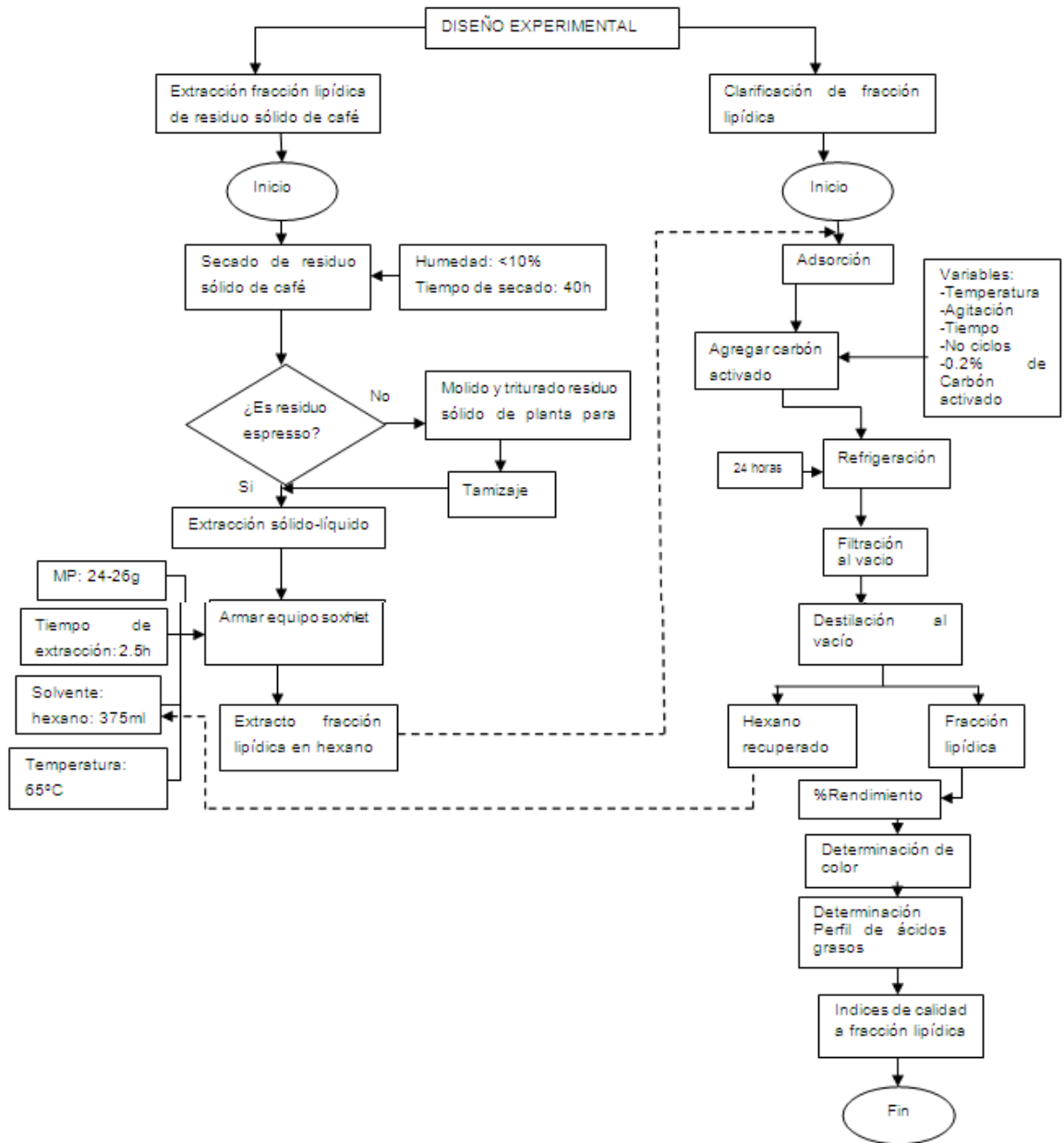
Los diagramas de flujo describen el proceso de los objetivos del trabajo de graduación. Ambos esquematizan las variables consideradas, los reactivos utilizados y el tipo de operación que se lleva a cabo.

Figura 25. Diseño general de procedimiento



Fuente: elaboración propia.

Figura 26. Diseño de procedimiento



Fuente: elaboración propia.

3.6. Recolección y ordenamiento de la información

La investigación inicia con la recolección de la materia prima de 3 restaurantes que se dedican a la venta de café bebible y la recolección del residuo sólido de una planta de café soluble clasificado como residuo sólido de grano de café tostado sin molienda.

3.6.1. Recolección de materia prima

Debe considerarse que ningún residuo sólido fue clasificado según su clase, altitud, origen, intensidad de tueste, ya que una vez realizada la bebida se desecha sin ninguna identificación. Debido a su rápida oxidación el residuo sólido de café debe refrigerarse en bolsas con cierre debidamente identificado.

3.6.2. Preparación de materia prima para extracción

- Secado
 - Dispersar el residuo de café previamente clasificado (espresso residuo sólido de grano café tostado sin molienda) en bandejas con un espesor aproximado de 1 milímetro.
 - Identificar cada bandeja según el origen del residuo (espresso residuo sólido de grano café tostado sin molienda).
 - Secar en un secador de flujo transversal a una temperatura de 45 grados Celsius.
 - Monitorear humedad cada intervalo de 2 horas.
 - Apagar el secador hasta que el porcentaje de humedad sea igual o menor al 10 por ciento.
 - Lavar bandejas.

- Triturado, molienda y tamizado para café proveniente de planta de café soluble
 - El café
 - debe de estar seco para tritararlo, molerlo y tamizarlo.
 - Graduar el molino para un tamaño fino.
 - Moler café filtrado y reducir su tamaño.
 - Tamizar residuo y utilizar tamices No. 50, 40, 30 y 20.
 - Descartar tamiz No. 10,12, 60 y finos.
 - Identificar la materia prima en bolsas herméticas según el número de tamiz.

3.6.3. Extracción de fracción lipídica

- Técnica soxhlet
 - Armar equipo de extracción soxhlet
 - Pesar 24-26 gramos. de residuo sólido de café e introducirlo en el dedal.
 - Medir 375 mililitros de hexano como solvente extractor, y colocarlo en el matraz de 500 mililitros.
 - Introducir 3 perlas de ebullición en el matraz.
 - Elevar la temperatura a 60 grados Celsius.
 - Esperar a ebullición y dejar el equipo durante 2,5 horas. después del primer ciclo.
 - Revisar que durante esas 2,5 horas el agua que atraviesa el condensador se encuentre a una temperatura de 10-14 grados Celsius.
 - Después de 2,5 horas, apagar la plancha de calentamiento.

- Desarmar equipo soxhlet.
- Fracción lipídica fluida
 - Al armar el equipo de extracción soxhlet, introducir una pequeña y angosta manguera al extractor, atravesando el condensador. De manera que uno de los extremos se encuentre en el extractor.
 - En el otro extremo de la manguera introducir una jeringa (sin punta), de manera que sirva para succionar el contenido de extracto que se encuentre en el extractor.
 - Succionar para cada ciclo una muestra de extracto.
 - Medir densidad por medio de un picnómetro.
 - Medir porcentaje de hexano evaporado por medio de una balanza de humedad.

3.6.4. Clarificación de fracción lipídica obtenida

- Adsorción
 - Montar el equipo con un erlenmeyer, agitador y un condensador para evitar la evaporación del solvente.
 - Agregar al extracto (hexano con fracción lipídica) obtenido de la extracción soxhlet distintas cantidades de carbón activado.
 - Mientras se agrega el carbón activado, se utilizarán variables de agitación, temperatura, número de ciclos y el tiempo para obtención del extracto.
 - Refrigerar el extracto durante 24 horas.

- Filtración
 - Filtrar a vacío el extracto hexánico y fracción lipídica del carbón activado. Utilizando el embudo bunchner y bomba de vacío.

- Destilación al vacío
 - Encender equipo para rotaevaporar el extracto.
 - Revisar que en el condensador el agua sea estable a una temperatura de 10-14 grados Celsius.
 - Verificar que se genere vacío para solvente extractor: hexano.
 - Llenar 2/4 del balón de fondo redondo del extracto (hexano y fracción lipídica clarificada).
 - Terminar la rotaevaporación hasta que el peso de la fracción lipídica sea constante para evitar trazas de hexano en la fracción lipídica clarificada.

3.6.5. Determinación de color

- Determinación de color por arrastre
 - Cortar papel filtro en forma rectangular.
 - Identificar cada muestra y asignar un papel filtro previamente recortado.
 - A cada papel filtro dejar caer una gota de muestra de fracción lipídica y arrastrar a lo largo del papel la gota, de manera que se observe degradación de color.
 - Muestrear 3 veces la muestra sobre el rectángulo del papel filtro (inicio, medio, final).

- Determinar coordenadas en cada punto de muestra con el espectrofotómetro.
- Determinación de color en pastillas de residuo de café
 - Comprimir residuo sólido de café en forma de pastillas.
 - Realizar medición de color mediante coordenadas C I E L*a*b* con ayuda del espectrofotómetro.

3.6.6. Determinación de perfil de ácidos grasos

- Calentar muestra para fluidizar.
- Filtrar muestra
- Medir 0,2 gramos de muestra y aforar en un balón de 25 mililitros.
- Agregar hidróxido de sodio a la muestra y calentar sin calor directo para eliminar humedad.
- Agregar 1,75 mililitros de trifloruro de boro.
- Mezclar 2 mililitros de heptano.
- Aforar con solución saturada de cloruro de sodio.
- Agregar de 0,5 a 1,0 gramos de sulfato de sodio anhidro, como absorbente de humedad, dentro del vial listo para inyectar.
- Detección de los ácidos grasos

La detección de los ácidos grasos de la muestra se detectó mediante el tiempo de retención (minutos) de los ácidos grasos estándar.

3.6.7. Determinación de índices de calidad

A continuación se describe el procedimiento que se llevó a cabo para la determinación de los índices de calidad. Los procedimientos se obtuvieron mediante consulta del trabajo de graduación de Ramírez Ovalle, Lourdes María y mediante experimentación y ayuda de profesionales en las instalaciones del Laboratorio de Fisicoquímica fabricante de Aceites Comestibles.

- Índice de acidez

Presencia natural de la acidez libre en las grasas, es decir, la suma de los ácidos grasos no combinados, resultado de la hidrólisis o descomposición lipolítica de algunos triglicéridos. El índice de acidez se define como el número de miligramos de hidróxido que se requieren para neutralizar los ácidos libres contenidos en un gramo de grasa.

“Es importante conocer la cantidad de ácidos libres debido a que los aceites comestibles y lubricantes no pueden contener ácidos grasos libres más allá de un límite dado. Se considera como impureza en las grasas”.¹²

- Pesar 5-10gramos de muestra.
- Calentar muestra para homogenizar y que su estado sea líquido.
No calentar la muestra más de 10 grados Celsius.
- Adicionar alcohol necesario. (En este caso 70 mililitros)
- Agregar indicador (fenolftaleína)
- Titular solución estándar de hidróxido de sodio.

¹² Facultad de Química Farmacéutica *Grasas y aceites comestible*.
<http://docencia.udea.edu.co/qf/grasas/acidez.html>. Consulta: 09 de enero de 2013.

- Determinación de índice de acidez:

$$\% \text{ácidos grasos} = \frac{\text{VOH} \times \text{N} \times 25,6}{\text{pm}}$$

Donde:

VOH = volumen de NaOH desplazados en la titulación (mililitros)

N = normalidad del NaOH

pm = peso de la muestra (gramos)

- Índice de yodo

“Indica la proporción de dobles enlaces en los radicales ácidos constituyentes de la grasa y se mide por los miligramos de yodo que fijan por adición en 100 miligramos de grasa. Se practica provocando la adición del yodo con exceso de reactivo y valorando volumétricamente el yodo no fijado. Se considera que un índice de yodo inferior a 100 es propio de grasas no secantes; superior a 170 de aceites secantes y entre y otro están los aceites semisecantes”.¹³

- Pesar 1 gramo de muestra.
- Agregar 20 mililitros de cloroformo y homogenizar.
- Agregar 25 mililitros de solución wijs (solución acética: yodo, cloruro de yodo).
- Tapar solución y homogenizar.
- Almacenar muestra en un lugar oscuro durante 30 minutos a temperatura ambiente.

¹³YUMI SILVA, Jorge. *Capítulo grasas y aceites*. Consulta: 16 de enero de 2013.

- Transcurridos los 30 minutos, retirar solución de la oscuridad y agregar 20 mililitros de yoduro de potasio y 100 mililitros de agua desmineralizada.
 - Preparar un blanco y ejecutarlo simultáneamente con cada muestra a analizar.
 - Titular con tiosulfato de sodio a 0,1 Normal. cuando presente viraje de color agregar 2 mililitros de almidón soluble al 1 por ciento.
 - Continuar titulando hasta que se presente otro viraje de color (blanco).
- Determinación de índice de yodo

$$\text{Índice de yodo} = \frac{((B - M) \times N \times 12,69)}{pm}$$

Donde:

B = volumen desplazado de titulación del blanco (mililitros)

M = volumen desplazado de titulación de la muestra (mililitros)

N = normalidad de la solución de tiosulfato de sodio. (N)

pm = peso de la muestra (g)

- Índice de peróxidos

Expresa la cantidad de peróxidos contenidos en un kilogramo de grasa expresada como miliequivalentes de oxígeno, evalúa el estado de oxidación de un lípido, cuando no se conoce la historia previa. Da la idea de estabilidad y del grado de evolución hacia la rancidez.

- Realizar una solución de ácido acético 60 por ciento e isoctano al 40 por ciento.
 - Pesar 5 gramos de muestra y mezclar con la solución previamente realizada.
 - Agregar 0,5 mililitros de solución saturada de yoduro de potasio.
 - Dejar que la solución repose en la oscuridad durante 1 minuto.
 - Agregar 30 mililitros de agua destilada.
 - Agregar gotas de almidón al 1 por ciento agua
 - Titular con tiosulfato de sodio 0,01 Normal
 - Anotar volumen desplazado hasta obtener viraje de color.
- Determinación de índice de peróxido:

$$\text{Valor de peróxido (meq. / 1000 gr.)} = \frac{(B - M) \times N \times 1\,000}{pm}$$

B = volumen desplazado de titulación en blanco (mililitros)

M = volumen desplazado de titulación de la muestra (mililitros)

N = normalidad de la solución de tiosulfato de sodio (Normal)

pm = peso de la muestra (gramos)

- Índice de saponificación

Indica los miligramos de potasio (KOH) necesarios para saponificar un gramo de materia grasa. La saponificación se hace con exceso de hidróxido de potasio alcohólico, cuya fracción no fijada se valora con ácido clorhídrico (HCl) y fenolftaleína.

- Pesar 5 gramos. de muestra
 - Agregar 50 mililitros de solución alcohólica de hidróxido de potasio.
 - Preparar un blanco de forma simultánea a la muestra.
 - Para la muestra y el blanco realizar una extracción con equipo soxhlet durante 1 hora.
 - Dejar ambas soluciones con reflujo con ayuda de un condensador durante 1 hora.
 - Titular muestra y blanco con ácido clorhídrico utilizando como indicador la fenolftaleína.
- Determinación del índice de saponificación

$$\text{Índice Saponificación} = \frac{56,1 \times N \times (B - M)}{pm}$$

B = volumen desplazado de titulación en blanco (mililitros)

M = volumen desplazado de titulación de la muestra (mililitros)

N = normalidad de la solución de ácido clorhídrico (Normalidad)

pm = peso de la muestra (gramos)

- Índice de DOBI

El índice de deterioro de blanqueabilidad clasifica los aceites como fácilmente blanqueables. Este índice es muy eficaz para predecir el tipo de tratamiento que se requiere, al igual que la clase de producto refinado que se obtendrá.

Funciona como un sistema de calificación para el aceite crudo de palma sobre la base de su susceptibilidad a la refinación. Según documento publicado por revista *Palmas* Vol.13 1992 hacen referencia a los parámetros que se muestran en la tabla:

Tabla XVIII. **Parámetros de índices DOBI**

DOBI	Observaciones
Menos de 2	Difícil de refinar
2,0 a 2,3	Impredecible
Más de 2,3	Fácil de refinar

Fuente: Revista Palmas. <http://www.angelfire.com/co4/franciscodelgado/calidadaceite.pdf>.

Consulta: 25 de enero de 2013.

- Pesar 0,10 gramos de muestra.
 - Agregar en un balón de 10 mililitros y aforar con isoctano.
 - Preparar 2 celdas una con isoctano (utilizado como blanco) y otra con la solución previamente realizada.
 - Medir absorbancias a 270 nanómetros y 446 nanómetros de longitud de onda (λ).
- Determinación de DOBI

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

Donde:

Abs. M 446 nm = absorbancia de la muestra 446 (nm)

Abs. M 270 nm = absorbancia de la muestra 270 (nm)

- Materia insaponificable

Conjunto de sustancias que se encuentran frecuentemente disueltas en el aceite o en la grasa que no sufren saponificación.

- Pesar 5 gramos de muestra.
- Agregar 30 mililitros de alcohol al 95 por ciento y 5 mililitros de hidróxido de potasio al 50 por ciento.
- Saponificar durante 1 hora.
- Agregar 50 mililitros de éter al cilindro y enfriar la muestra lavada con alcohol.
- Agitar y decantar las dos fases formadas.
- Repetir la extracción y la decantación en porciones de 50 mililitros de éter.
- Lavar los extractos con alcohol al 10 por ciento.
- Decantar la fase con éter y evaporar el solvente en baño maría y posteriormente secar en horno.
- La fase de alcohol debe titularse con hidróxido de sodio 0.02 Normal.
- Simultáneamente realizar una titulación en blanco.
- Determinación de materia insaponificable.

$$\text{Porcentaje de materia insaponificable} = \frac{(A - B - C) \times 100}{pm}$$

Donde:

A = peso de la fase alcohólica.

B = peso de grasa ácida (usando 1 mililitros de 0.02 concentración Normal de NaOH es equivalente. a 0,0056 g de ácido oleico)

C=peso de la titulación en blanco.

Pm= peso de la muestra

- Valor de fósforo

Un nivel alto de fósforo en un aceite se dificulta desgomarlo, por lo que es recomendable que su valor sea bajo. Generalmente, el contenido de fósforos y fosfátidos son indeseables en un aceite de calidad.

- Pesar 0,33 gramos de muestra.
- Aforar con acetona en un balón de 50 mililitros.
- Encender turbidímetro y calibrar.
- Verter la mezcla en una celda a su respectivo nivel.
- Agitar celda y limpiar exceso.
- Simultáneamente realizar el mismo procedimiento para una muestra en blanco de acetona.
- Programar rango de 200 unidades nephelométricas de turbiedad (NTU).
- Tomar lectura de turbidímetro transcurridos 5 minutos.

- Determinación de valor de fósforo

$$P = (NTU \times 5,89) + 316,4$$

Donde:

NTU= unidades nephelométricas de turbiedad

P= valor de fósforo (partes por millón)

- Valor de fosfátidos

“Un requisito previo si se desea refinar un aceite para uso comestible es la eliminación de fosfátidos hasta un nivel inferior a los 5 mg de fósforo/ Kg de aceite”.¹⁴

El aceite destilado lleva en su masa algunos elementos que son indeseables y que dificultan su almacenaje y posterior utilización. Estos elementos son derivados del fósforo, llamados fosfátidos, que tienen la particularidad de combinarse con el agua formando compuestos de gruesa viscosidad.

- Determinación de valor de fosfátidos:

$$\text{Fosfátidos} = P \times 30$$

Donde:

P= valor de fósforo (partes por millón)

Fosfátidos= valor de fosfátidos (partes por millón)

¹⁴ FAO. Departamento de Agricultura. <http://www.fao.org/docrep/v4700s/v4700s09.htm>. Consulta 2 de Febrero 2013.

- Valor de P-anisidina

El índice de anisidina se utiliza como medida de deterioro latente de un material graso. La intensidad de color de los productos amarillentos formados en la reacción depende, no solamente de la cantidad de compuestos sino también de su estructura. Evalúa su estabilidad.

- Pesar 0,5 gramos de muestra.
- Aforar con isooctano en un balón de 25 mililitros.
- Muestrear la solución y el solvente isooctano para medir su absorbancia a 350 nm con el espectrofotómetro.
- Medir 5 mililitros de la solución y del solvente isooctano.
- Posteriormente agregar 1 mililitro del reactivo de anisidina a cada muestra de 5 mililitros.
- Medir absorbancia de ambas soluciones a 350 nanómetros. Utilizar como blanco la solución del solvente.

- Determinación del valor de P-anisidina:

$$P\text{-anisidina} = \frac{(Ab. As \times 1,2) - Ab. B}{Pm}$$

Donde:

P-anisidina = valor de P-anisidina

Ab. As = absorbancia de la muestra con la adición de p-Anisidina.

Ab. B. = absorbancia de la muestra sin la adición de p-Anisidina.

- Valor de TOTOX

Es un valor de medición estandarizado internacional que indica el grado de frescura o ranciedad en un aceite de pescado. Mientras más alto el valor de TOTOX (oxidación total) más rancio está el aceite y de menor calidad. Para un aceite de pescado el máximo recomendado es de 6.

- Determinación de valor de totox
 $T = (\text{peróxido} \times 2) + \text{P-anisidina}$

Donde=

T= Valor de totox

Peróxido= valor del índice de peróxido (meq/ 1000 g)

P-Anisidina= Valor de P-Anisidina

- Ceras

La extracción con solventes, también aumenta la cantidad de ceras. La cantidad de ceras que pasan al aceite durante el proceso de extracción, depende de numerosas variables. Entre ellas se puede considerar la eficiencia del proceso y el método de extracción ya sea por solvente o prensado.

Generalmente, las ceras deben eliminarse si el aceite se refina debido a que las ceras provocan opacidad y provoca sedimentos. Según menciona Marcela Jiménez en su trabajo: *Importancia del estudio de las ceras para mejorar la calidad industrial del girasol.*

Las ceras son alcoholes grasos de elevado número de átomos de carbono. Las ceras disueltas en los aceites, precipitan alrededor de 40 confiriéndole al aceite cualidades organolépticas indeseables.

Las ceras están presentes en los aceites de forma natural.

- Pesar aproximadamente 4,6 gramos de muestra
 - Aforar tubo de ensayo con acetona y agitar
 - Pesar 4,6 gramos de muestra para el segundo tubo
 - Medir las unidades nephelométricas de turbiedad
- Determinación de ceras

$$\text{Ceras (ppm)} = (\text{NTU M} \times \text{NTU B}) \times 39,2 + 40,1$$

Donde

Ceras (ppm) = determinación de ceras en la muestra.

NTU M= unidades nephelométricas de turbiedad en la muestra.

NTU B= unidades nephelométricas de turbiedad en blanco.

- Jabón

El contenido de jabón en una grasa constituye un parámetro que valora la calidad del aceite o grasa comestible. El contenido de jabón es la cantidad medida en ppm de oleato de sodio presente en el aceite o grasa

- Pesar 100 gramos de muestra.
 - Agregar 100 mililitros de solución de acetona y agua. Asegurarse de agregar gotas de indicador azul bromofenol.
 - Titular solución con 0,01Normal de ácido clorhídrico.
- Determinación de presencia de jabón

$$\text{jabón (ppm)} = \frac{(\text{VT} \times \text{N} \times 304400)}{\text{pm}}$$

Donde

VT= volumen desplazado de la titulación (mililitros)

N= normalidad de titulante (ácido clorhídrico)

Pm= peso muestra (g)

- Humedad

Cuando un producto es sometido a secado en condiciones específicas, presenta una pérdida de peso, debido a la evaporación del agua que contiene la cual se reporta como valor de humedad.

- Pesar 1gramo de muestra
- Medir humedad

- Gomas

Es necesario que los aceites crudos sean sometidos a un buen proceso de desgomado o pretratamiento que los purifique.

Las gomas son compuestos hidrosolubles tales como: proteínas, hidratos de carbono y fosfátidos, que es posible separar, ya que establecen una fase inmisible con el aceite.

- Pesar 100 gramos de muestra
- Agregar 1 gota de ácido fosfórico y 10 mililitros de agua destilada
- Calentar mezcla y agitarla
- Colocar muestra en tubo de ensayo y colocarlo en la centrífuga
- Lavar solución con hexano y trasegar gomas a un tubo de ensayo
- Destilar hexano calentando muestra en un beacker
- Pesar beacker con gomas secas

- Determinación de gomas

$$\text{Gomas (por ciento)} = (\text{PB} - \text{PGS}) \times 100$$

Donde

PB=peso del beacker

PGS=peso de gomas secas

3.7. Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información

Los datos obtenidos del proyecto de investigación se ordenarán y se tabularán en las siguientes tablas para facilitar el análisis de los resultados.

Tabla XIX. **Fracción lipídica fluida durante la extracción con hexano**

Fuente:				
Tipo de residuo sólido de café:				
Materia prima (g)				
No. Ciclo	Tiempo (min)	Densidad (g/mL)	% Fracción fluida	Fracción lipídica fluida
Tiempo total de extracción:				

Fuente: elaboración propia.

Tabla XX. **Rendimiento y clarificación de fracción lipídica**

ORIGEN		% Rendimiento		Media	Desviación estándar
Desechos de restaurantes	Restaurante 1	C.E.			
		2T			
		2 Θ			
		2RPM			
		No ciclos			
	Restaurante 2	C.E.			
		2T			
		2 Θ			
		2RPM			
		No ciclos			

Continuación de la tabla XX.

ORIGEN		% Rendimiento		Media	Desviación estándar
Desechos de restaurantes	Restaurante 3	C.E.			
		2T			
		2Θ			
		2RPM			
		No ciclos			
Desechos de plantas industriales	Planta industrial de café soluble	C.E.			
		2T			
		2Θ			
		2RPM			
		No ciclos			

Fuente: elaboración propia.

- Perfil de ácidos grasos utilizando cromatografía gaseosa

Tabla XXI. **Ácidos grasos saturados, monoinsaturados y poliinsaturados**

Perfil de ácidos grasos	Nombre común	Fórmula	Porcentaje (%)	
			Restaurante con mayor rendimiento	Planta de café soluble
Ácidos grasos saturados				
Ácidos grasos monoinsaturados				
Ácidos grasos poliinsaturados				

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXII. **Porcentaje total de ácidos grasos**

Ácidos grasos	Total (%)
Saturados	
Monoinsaturados	
Polinsaturados	
Sin identificación	

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIII. **Índices de calidad a la fracción lipídica del residuo sólido de café**

Prueba	Resultado
Índice de acidez (porcentaje ácidos grasos)	
Índice de yodo (gyodo/ 100g grasa)	
Índice de peróxidos (miliequivalentes de oxígeno peróxido por gramo de muestra)	
Índice de saponificación (mg KOH/ 1 g aceite)	
Índice DOBI (adimensional)	
Materia insaponificable (%)	
Valor de fósforo (ppm/g muestra)	
Valor de fosfátidos (ppm/g muestra)	
Valor de p-anisidina (ppm/g muestra)	
Valor de totox (adimensional)	
Ceras (ppm/g muestra)	
Jabón (ppm/ g muestra)	
Humedad (%)	
Gomas (%)	

Fuente: RAMÍREZ Lourdes, *Evaluación del rendimiento de extracción y caracterización del aceite fijo de café tostado tipo genuino antigua obtenido por el proceso de prensado*. p. 74.

3.8. Análisis estadístico

El análisis estadístico se realizará mediante un análisis de varianza (ANOVA) para verificar si existe diferencia significativa entre el porcentaje de rendimiento entre el residuo de café espresso y de una planta de café soluble. Para el análisis de varianza es necesario contemplar medidas de tendencia central como la media y las medidas de dispersión como la varianza.

El uso del método ANOVA pretende probar la hipótesis:

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \dots \mu_k.$$

H_1 : al menos dos de las medias no son iguales

3.8.1. Media

La media es simplemente un promedio numérico, es decir, que la media aritmética de un conjunto de valores $\{x_1, x_2, \dots, x_i\}$ de una variable x viene determinada por la suma de dichos valores, dividida por el número de la muestra (n) el cual se representa matemáticamente de la siguiente forma:

$$\bar{X} = \sum_{i=1}^n \frac{x_i}{n} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n}$$

Donde:

n = número de muestras

$x_1 + x_2 + \dots + x_n$: muestra 1 ,2 ...n

3.8.2. Medidas de dispersión

“Informan sobre cuánto se alejan del centro los valores de la distribución. Las medidas de dispersión nos permiten conocer si los valores en general están cerca o alejados de los valores centrales, muestran la variabilidad de una distribución de datos indicando por medio de un número si las diferentes puntuaciones de una variable están muy alejadas de la medida de tendencia central”.¹⁵

3.8.2.1. Desviación estándar

Es la raíz cuadrada positiva de la varianza. Es decir, la raíz cuadrada de la media de los cuadrados de las puntuaciones de desviación. La desviación estándar cuantifica la dispersión de los valores para una misma medición respecto al valor promedio.

$$S = \sqrt{S^2}$$

Donde

S^2 : varianza

S : desviación estándar

3.8.2.2. Varianza

Es la media de las desviaciones (x) al cuadrado respecto a la media aritmética (x_p) de una distribución estadística.

¹⁵ SALAS, Elizabeth. *Medidas de dispersión*. <http://es.slideshare.net/elimiguelito/medidas-de-dispersion>. Consulta: 23 de enero de 2013.

$$S^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(x_i - \bar{x})^2}{n - 1}$$

Donde:

n : número de muestra

\bar{x} : media

x_i : número de muestra

3.8.3. Análisis de varianza

Para fines de la investigación se procede a utilizar el método:

3.8.4. Uso de la prueba F en el ANOVA

Consiste en la división entre un efecto observado respecto a un error aleatorio. Varianza entre grupos respecto a la varianza dentro de los grupos. Si sobrepasa cierto valor crítico, entonces se puede afirmar que el efecto observado es demasiado grande para poder ser explicado por el azar.

3.8.4.1. Distribución F

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

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

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

La razón F se utiliza en el contexto de prueba unilateral de cola superior. Es decir, cuando H_1 es verdadera se esperaría que el numerador s_1^2 fuera mayor que el denominador.

3.8.4.2. Razón F para probar la igualdad de las medias

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

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

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

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

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

Tabla XXIV. **Análisis de varianza del ANOVA para un solo factor**

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media Cuadrática	f calculada
Tratamientos	SSA	$k - 1$	$s_1^2 = \frac{SSA}{k - 1}$	s_1^2 / s^2
Error	SSE	$k(n - 1)$	$s_1^2 = \frac{SSE}{k(n - 1)}$	
Total	SST	$kn - 1$		

Fuente: WALPOLE. *Probabilidad para ingeniería y ciencias*. p. 416.

Tabla XXV. **Tres medidas importantes de variabilidad**

SST	$\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n (y_{ij} - \bar{y}_{..})^2$	Suma total de cuadrados
SSA	$n \sum_{i=1}^K (\bar{y}_i - \bar{y}_{..})^2$	Suma de los cuadrados del tratamiento
SSE	$\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n (y_{ij} - \bar{y}_{i..})^2$	Suma de los cuadrados de los errores

Fuente: WALPOLE. *Probabilidad para ingeniería y ciencias*. p. 416.

Análisis de varianza

Tabla XXVI. **Resumen**

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
Restaurante	10	124,47	12,447	0,77553444
Planta	10	206,42	20,642	1,83828444

Fuente: elaboración propia, con el programa de análisis de datos de Excel.

Tabla XXVII. **Análisis de varianza**

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	335,790125	1	335,790125	335.790125	4,23 E-12	4,4138734
Dentro de los grupos	23,52437	18	1.30690944			
Total	359,314495	19				

Fuente: elaboración propia, con el programa de análisis de datos de excel.

Debido a que F es mayor al valor F crítica. Existe diferencia significativa entre el rendimiento obtenido a partir de un restaurante y una planta de café soluble.

4. RESULTADOS

Obtenida la fracción lipídica clarificada se procedió al análisis del porcentaje de rendimiento, coordenadas de color mediante el método C I E L* a*b*, perfil de ácidos grasos mediante cromatografía gaseosa y los índices de calidad de la fuente de restaurante y planta de café soluble.

Tabla XXVIII. **Porcentaje de rendimiento de extracción total de la fracción lipídica clarificada del sólido residual, proveniente de la fabricación de café tipo espresso del expendio de café bebible y una planta de café soluble utilizando la técnica soxhlet**

Origen		% Rendimiento			Media	Desviación estándar
Desechos de restaurantes	Restaurante No.1	Corrida estándar	13,47	11,56	12,36	±0,66
		Temperatura(45°C)	13,51	12,01		
		RPM (400)	12,31	11,66		
		Tiempo (40 min)	12,05	12,45		
		No ciclos (2)	12,26	12,31		
	Restaurante No.2	Corrida estándar	12,18	12,51	12,30	±0,59
		Temperatura(45°C)	13,06	12,85		
		RPM (400)	12,57	11,18		
		Tiempo (40 min)	12,07	12,34		
		No ciclos (2)	12,85	11,38		
	Restaurante No.3	Corrida estándar	12,88	12,41	12,45	±0,88
		Temperatura(45°C)	13,30	12,53		
		RPM (400)	10,76	13,47		
		Tiempo (40 min)	13,05	12,65		
		No ciclos (2)	11,13	12,29		
Desechos de plantas industriales	Planta Industrial de café soluble	Corrida estándar	19,53	17,58	20,64	±1,35
		Temperatura(45°C)	20,45	22,16		
		RPM (400)	21,39	21,50		
		Tiempo (40 min)	20,76	20,11		
		No ciclos (2)	20,91	22,03		

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIX. **Grado de decoloración por el método C I E L*a*b* de la fracción lipídica extractable de mayor rendimiento del sólido residual, proveniente de la fabricación de café tipo espresso del expendio de café bebible y una planta de café soluble mediante el uso de carbón activado en función de las variables de tiempo (20, 40 min), número de ciclos (1 2), temperatura (35, 45 °C) y agitación (200, 400 RPM)**

UBICACIÓN	VARIABLES	Luminosidad		Cromaticidad			
		L*		a*		b*	
		RESTAURANTE 3	PLANTA CAFÉ SOLUBLE	RESTAURANTE 3	PLANTA CAFÉ SOLUBLE	RESTAURANTE 3	PLANTA CAFÉ SOLUBLE
Inicio	Corrida estándar	93,17	92,93	-0,29	-0,47	1,91	2,24
	Temperatura (45°C)	92,37	92,21	-0,55	-0,57	3,35	3,08
	RPM (400)	92,33	92,89	-0,41	-0,38	2,42	2,97
	Tiempo (40min)	92,45	92,76	-0,46	-0,43	3,12	2,53
	No de ciclos (2)	92,76	92,73	-0,28	-0,4	2,11	2,17
Medio	Corrida estándar	93,1	93,13	-0,29	-0,47	1,72	2,21
	Temperatura (45°C)	91,77	92,65	-0,5	-0,6	2,88	4
	RPM (400)	92,19	92,77	-0,42	-0,33	2,16	2,7
	Tiempo (40min)	91,97	92,74	-0,46	-0,59	2,96	2,98
	No de ciclos (2)	92,86	93,28	-0,33	-0,32	1,78	1,74
Final	Corrida estándar	92,2	91,71	-0,29	-0,49	1,44	2,05
	Temperatura (45°C)	92,12	92,08	-0,48	-0,61	3,03	3,53
	RPM (400)	92,34	92,81	-0,45	-0,37	2,05	2,27
	Tiempo (40min)	92,02	91,07	-0,4	-0,76	2,93	4,75
	No de ciclos (2)	91,6	92,97	-0,4	-0,4	2,05	2,04

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXX. **Grado de decoloración por el método C I E L*a*b* de la muestra de residuo sólido de las 4 fuentes utilizadas**

No. de Muestra	Fuente	Luminosidad	Cromaticidad	
		L*	a*	b*
1	Restaurante 1	13,21	13,37	17,75
	Restaurante 2	12,15	12,75	16,12
	Restaurante 3	13,05	13,14	17,53
	Planta de café soluble	13,34	10,64	15,49
2	Restaurante 1	12,57	13,12	16,75
	Restaurante 2	10,74	11,76	13,73
	Restaurante 3	9,42	11,3	12,83
	Planta de café soluble	13,91	10,71	16,1
3	Restaurante 1	13,64	13,59	18,05
	Restaurante 2	10,58	11,99	13,64
	Restaurante 3	14,46	13,88	19,14
	Planta de café soluble	12,83	10,32	14,99

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXI. **Grado de decoloración de la fracción lipídica extractable de mayor rendimiento del sólido residual, proveniente de la fabricación de café tipo espresso del expendio de café bebible**

	Restaurante 3
Corrida Inicial	
Temperatura	
RPM	
Tiempo	
No de ciclos	

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXII. Grado de decoloración de la fracción lipídica extractable de mayor rendimiento del sólido residual, proveniente de una planta de café soluble

Planta de café soluble	
Corrida inicial	
Temperatura	
RPM	
Tiempo	
No de ciclos	

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXIII. Perfil de ácidos grasos de la fracción lipídica clarificada de mayor rendimiento del sólido residual, proveniente de la fabricación de café tipo espresso del expendio de café bebible y una planta de café soluble

Perfil de ácidos grasos	Nombre común	Fórmula	Porcentaje %	
			Restaurante 3	Planta de café soluble
Ácidos grasos saturados	Ácido palmítico C 16: 0	$C_{15}H_{31}COOH$	35,47	32,48
	Ácido esteárico C 18: 0	$C_{17}H_{35}COOH$	6,77	5,99
Ácidos grasos monoinsaturados	Ácido oléico C 18: 1 ⁹	$CH_3(CH_2)_7CH:CH(CH_2)_7COOH$	8,46	9,51
Ácidos grasos poliinsaturados	Ácido linoleico C 18: 2 ^{9,12}	$CH_3(CH_2)_4CH:CHCH_2CH:CH(CH_2)_7COOH$	45,77	47,5
	Ácido linolenico C 18: 3 ^{9,12,15}	$CH_{17}H_{31}COOH$	1,19	2,06

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXIV. **Perfil de ácidos grasos saturados, monoinsaturados, poliinsaturados y sin identificar de una fuente de restaurante y planta de café bebible**

ÁCIDOS GRASOS	TOTAL (%)	
	Restaurante 3	Planta de café soluble
Saturados	42,24	38,47
Monoinsaturados	8,46	9,51
Poliinsaturados	46,96	49,56
Sin identificar	2,34	2,36

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXV. **Índices de calidad de la fracción lipídica clarificada de mayor rendimiento del sólido residual, proveniente de la fabricación de café tipo espresso del expendio de café bebible y una planta de café soluble**

Prueba	Resultado	
	Restaurante 3	Planta de café soluble
Índice de acidez (porcentaje ácidos grasos)	1,43	22,4
Índice de yodo (gyodo/ 100g grasa)	95,28	91,74
Índice de peróxidos (miliequivalentes de oxígeno peróxido por gramo de muestra)	4,30	13,40
Índice de saponificación (mg KOH/ 1 g aceite)	177,14	191,63
Índice DOBI (adimensional)	0,0076	0,0031
Materia insaponificable (%)	0,81	0,93
Valor de fósforo (ppm/g muestra)	356,51	382,37
Valor de fosfátidos (ppm/g muestra)	10695,3	11470,8
Valor de p-anisidina (ppm/g muestra)	19,14	15,75
Valor de totox (adimensional)	53,34	32,29
Ceras (ppm/g muestra)	6351,3	15288,9
Jabón (ppm/ g muestra)	NEGATIVO	NEGATIVO
Humedad (%)	6,91	4,92
Gomas (%)	NEGATIVO	NEGATIVO

Fuente: elaboración propia.

5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Mediante la presente investigación fue posible demostrar que el residuo sólido de café a partir de expendios de café bebible y de una planta destinada para elaborar café soluble, pueden considerarse como materia prima para distintas aplicaciones en la industria, iniciando infinidad de investigaciones científicas a nivel nacional sobre la utilidad de este biomaterial para procesos de ingeniería.

La investigación se basa en la implementación de dos operaciones unitarias; la lixiviación donde se realiza la extracción sólido-líquido entre el residuo sólido de café y el solvente orgánico hexano. Y la adsorción durante la clarificación de la fracción lipídica entre el carbón activado y el extracto hexánico.

Mediante el método de extracción utilizado fue posible obtener rendimientos de aproximadamente 12 por ciento, respecto los restaurantes los cuales cumplen con el rango publicado según Centro Nacional de Investigaciones de café donde se reporta que en el proceso de obtención de aceite a partir de residuo sólido los rendimientos fluctúan entre 10 por ciento -15 por ciento en peso, dependiendo de la especie (arábica o robusta). Es de suma importancia diferenciar que en el presente estudio no fue posible clasificar la especie (arábica o robusta), la altitud, color de tueste del residuo sólido de café ya que se ningún restaurante lo clasifica o identifica como tal, después de realizar bebidas. El rendimiento obtenido respecto a la planta de café soluble fue de aproximadamente 20 por ciento.

La diferencia del porcentaje de rendimiento entre ambas fuentes puede justificarse mediante el proceso de elaboración, ya que en la planta de café soluble el grano de café tiene contacto continuo con agua caliente por mayor cantidad de tiempo, en comparación con la elaboración de una bebida de café. Generalmente, durante la elaboración de un café espresso el agua caliente tiene contacto con el grano de café durante 20-30 segundos, aproximadamente, lo que permite extraer los sólidos solubles y aromáticos a la bebida reduciendo la fracción porcentual de fracción lipídica. Otro factor notable fue el tamaño del residuo sólido de café en la planta de café soluble, ya que fue necesaria la molienda y trituración del mismo, para homogenizar el tamaño con la fuente de residuo de café de restaurante. La friabilidad del residuo sólido de café del restaurante se diferenció del residuo sólido de café de planta, de café soluble.

Durante el monitoreo de las 4 fuentes de materia prima en la extracción sólido-líquido, las cuales se pueden observar en la sección de apéndices se identificó que la fracción lipídica disuelta fue decreciente. No se observaron etapas de extracción, por lo que la extracción de la fracción lipídica fue uniforme durante las 2 horas, aproximadamente. La técnica extractiva soxhlet a lo largo de los ciclos fue uniforme.

El apéndice 21 indicó, que durante el segundo ciclo de la extracción soxhlet, se produjo la mayor cantidad de fracción lipídica fluida, esto se debe a que durante el primer ciclo cuando el solvente orgánico empieza a evaporarse (porque ha llegado a su punto de ebullición), y luego al ser condensado por el condensador, desciende por las paredes del extractor, mojando al sólido en el dedal llamada fase de imbibición, ya que el sólido absorbe parte del solvente para humedecerse, debido a que el sólido se encuentra completamente seco y no es posible iniciar completamente la extracción desde el inicio. En el segundo ciclo de extracción, el sólido está completamente humedecido, por lo tanto

permite que nuevamente al condensarse el solvente orgánico y al tener contacto con el sólido arrastre los componentes solubles y se dejen los sólidos insolubles indeseados en el dedal donde se encuentra el sólido, y de esta manera se inicie la extracción sólido-líquido. Una de las ventajas de utilizar el método soxhlet es que el solvente puede extraer componentes del sólido de manera indefinida, ya que en el extractor se genera un sifón que permite trabajar en ciclos hasta que el sólido quede completamente agotado.

Debido a la uniformidad de la extracción sólido-líquido es posible que se presente el problema de canalización durante la extracción, este se genera cuando se producen rutas donde facilita el paso del solvente orgánico en el dedal, de manera que disminuya el contacto con el sólido, en este caso el residuo sólido de café, y disminuya su arrastre de componentes deseados.

Durante el tostado de grano de café (no importa la especie), ocurre la pirodextrinización del almidón que contiene; luego de la extracción sólido-líquido del residuo sólido de café, utilizando como solvente extractor el hexano, se obtiene como subproducto el residuo sólido de café agotado y el extracto hexánico con la fracción lipídica de café. El alcance de la investigación analiza el extracto hexánico con la fracción lipídica, por ende se recomienda continuar con la investigación del análisis del residuo sólido agotado de café, luego de la extracción, ya que como se menciona en el marco teórico puede ser que aún contenga pirodextrinas y de esta manera se logre abarcar de una forma más completa la investigación y su posible aplicación en la industria.

La ingeniera en alimentos, Claudia Milena Peña Álvarez, en el artículo de *Determinación de Cenizas totales o residuo mineral* indica que las cenizas representan el contenido en minerales del alimento, los cuales junto con el agua, no se pueden oxidar en el organismo para producir energía. Es decir, que

representan el contenido del alimento en minerales indigestibles (no inorgánico). El porcentaje de minerales obtenido de las 4 fuentes usadas fue menor al 2 por ciento considerándose relativamente bajo y posibles candidatos a aplicarse en la industria para alimentos.

La clarificación de la fracción lipídica de café se realizó a partir de la adsorción entre el extracto hexánico con el carbón activado. El procedimiento se realizó en un sistema cerrado con un balón y condensador para evitar la evaporación del extracto. La elevación de la temperatura, la agitación y la porosidad del carbón activado fueron factores determinantes que ayudaron a la eficacia de la operación. El carbón activado se utilizó como adsorbente donde su porosidad le permitió adsorber toda la materia pirolizada proveniente del tostado del grano que le daba un aspecto marrón oscuro al aceite. La afinidad del sólido con el extracto de moléculas orgánicas, siendo un compuesto covalente, permitió que el carbón clarificara el extracto. La transferencia de materia entre el adsorbente y el extracto se realizó mediante la difusión de la misma. Parte de las moléculas pirolizables del extracto se adhirieron tanto física como químicamente a la superficie del carbón y a su porosidad.

Mediante el método de determinación de color C I E $L^*a^*b^*$ fue posible conocer las coordenadas de decoloración de la fracción lipídica clarificada. El aspecto de un aceite clarificado permite introducirse en distintos campos, como en alimentos y cosmetología. A pesar que, la cantidad utilizada de carbón fue de 0,2 por ciento el cambio de color obtenido fue percibido. En la actualidad, el carbón activado no es la mejor opción como clarificante si el aceite se utiliza en alimentos. Existe gran variedad de métodos para la clarificación del aceite, tema que podría profundizarse en otro campo de investigación. Es importante priorizar que si se desea utilizar el aceite como vegetal debe clarificarse y desodorizarse, y que sea apto para consumo humano. Si el aceite de café se

utiliza como un aditivo en repostería, es necesario que contenga sus propiedades organolépticas para utilizarlo. La degradación de color no tuvo diferencia notable entre la fuente del restaurante y la planta de café soluble.

Las variables utilizadas durante el proceso de clarificación de la fracción lipídica demostraron que el tiempo óptimo de extracción sólido-líquido fue de 2 horas, aproximadamente. No existe diferencia de coordenadas de decoloración de color entre el tiempo, RPM y temperatura de extracción.

Las coordenadas reportadas mediante el método C I E L*a*b* por arrastre de color, determinaron que todas las muestras de fracción lipídica medidas contenían alta luminosidad con cromaticidad verdosa baja y amarilla. Estas coordenadas reflejan que todas las muestras tienen la misma tendencia y rango de coloración, no importando las variables, ni fuentes utilizadas.

El análisis de perfil de ácidos grasos demuestra que ambas muestras contienen alto porcentaje de ácido palmítico y ácido linoléico. El alto contenido de ácidos saturados y poliinsaturados demuestran que son muy parecidos a los ácidos grasos del aceite de café, clasificándose como un aceite estable. Ambos ácidos grasos reportados son esenciales para el organismo humano. Por ende, el aceite obtenido en ambas fuentes es adecuado para la industria alimenticia. Siempre y cuando se establezca un estudio a mayor detalle.

El alto porcentaje de ácidos grasos que contiene la fracción lipídica, también ha permitido iniciar investigaciones para uso tópico en cosmetología, ya que puede actuar como una película monolítica sobre la piel. Es importante que si se desea profundizar sobre este tipo de aplicación, es necesario el análisis de absorbancia de la fracción lipídica obtenida.

Los resultados de la presente investigación se divulgaron de forma preliminar en el VII Congreso Centroamericano de Ciencias Cosméticas realizado en la ciudad de Guatemala 12 y 13 de septiembre de 2013. La presentación de los resultados y su posible aplicación en cosmetología de la fracción lipídica a partir del residuo sólido de café, obtuvo el primer lugar por el trabajo científico en modalidad póster. El diploma de participación se encuentra en la sección de anexos.

Mediante los índices de calidad fue posible determinar diferencias significativas entre las dos fuentes utilizadas en el presente estudio. A continuación se analizan de forma individual para cada aceite.

- El alto índice de acidez obtenido a partir de la planta de café soluble fue aproximadamente 15 veces mayor que el índice de acidez obtenido de la fuente de restaurante. Su alto valor se considera como impureza cuando el índice de acidez es alto. Se descarta que sea un aceite refinado, aceite virgen o prensado en frío.
- El valor del índice de acidez del restaurante presenta posibilidad de continuar investigando su grado de estabilidad, características organolépticas, nivel nutricional, tal y como menciona Palancar Adolfo en su artículo: *Aceites vegetales*.
- Ambas fuentes se clasifican como grasas no secantes, ya que los valores de yodo fueron menores a 100gYodo/100g grasa. Las grasas no secantes no solidifican o se espesan después de transcurrido largo tiempo. Por lo que no se oxidan cuando se exponen al aire. Un ejemplo de grasas no secantes es el aceite de oliva.

- El valor del índice de peróxido de la fracción lipídica del expendio de café bebible del restaurante No. 3 se clasifica como grasa y aceite comestible debido a que se encuentra bajo la dosis máxima de 10 miliequivalentes de oxígeno activo/Kg aceite, según la norma del codex para grasas y aceites comestibles no regulados por normas individuales. La muestra obtenida presenta olor característico a café.
- El valor del índice de peróxido de la fracción lipídica obtenida de la planta de café soluble es alto indicando que el aceite tiende a deteriorarse o a mostrar rancidez con mayor rapidez. El olor a rancio que presenta la muestra también refleja que la fracción lipídica tiende a oxidarse fácilmente.
- Dependiendo del valor de peróxido y el índice de acidez para ambas fuentes (restaurante y planta de café soluble), la fracción lipídica, también puede clasificarse para abonos orgánicos en plantas de compostaje y lombricultura, industria cosmética e industrias químicas de lubricantes, ceras, velas, pinturas, barnices, combustibles biológicos como el biodiesel, tal y como se menciona en el artículo de Aylón Yague Ma. De los Ángeles en su estudio de utilización de aceites para fritura en establecimientos alimentarios de comidas preparadas.
- Mediante el valor de P-Anisidina se determina que ambos aceites pueden almacenarse debido a su alta estabilidad. Además se asegura que los aceites obtenidos no se enranciarán rápidamente. A pesar de su bajo valor siempre se recomienda el uso de antioxidantes para mayor preservación del aceite.

- El alto índice de saponificación y bajo de materia insaponificable de ambas fuentes utilizadas (restaurante y planta de café soluble) permiten la obtención de jabones con la adición de lejía concentrada, tal como se menciona en el libro de Aguirre Francisco, *Utilización industrial del grano de café y de sus subproductos*.
- A pesar que el parámetro para el índice de DOBI es exclusivo para el aceite crudo de palma; el resultado de ambos indica que el aceite es difícil de refinar. Sin embargo, existen patentes como las que se mencionan en la sección de antecedentes de la presente investigación, las cuales han demostrado que mediante un tratamiento controlado de calor y una selección adecuada de solvente extractor y método de extracción es posible la refinación.
- El alto valor de fósforo y fosfátidos demuestran que el aceite contiene elementos indeseables que disminuyen la calidad del aceite. Es importante diferenciar que el aceite a partir de la planta de café soluble es significativamente mayor en proporción al aceite extraído a partir de residuos sólidos de restaurantes.
- El alto valor del índice de TOTOX indica que el aceite contiene alta cantidad de toxina. Susan Kamu publica en su artículo que un aceite destinado para consumo humano puede llevar un valor máximo de 26 meq/kg. En Canadá asciende a 19.5 meq/kg y Europa 20 meq/kg. Por ende queda claro que ninguno de los dos aceites cumple con los parámetros mencionados. El valor del índice de TOTOX de la fracción lipídica obtenida de expendio de restaurante fue mayor que el de la planta de café soluble.

- Osorio, Mireya indicó en el *Análisis de Aceites de Origen Vegetal*, que según el Reglamento Sanitario de los Alimentos, título X, párrafo I, artículo 248: "El contenido de humedad y materiales volátiles, no deberá ser mayor a 0,2 por ciento en los aceites comestibles y no más 0,5 por ciento en las mantecas y grasas. La humedad resultante de ambas muestras no alcanzan los límites establecidos". Sin embargo, la humedad puede eliminarse en la refinación del aceite.
- La alta cantidad de ceras reportadas en ambas muestras indican que durante el proceso de extracción existen probabilidades que el solvente utilizado haya provocado el aumento de las mismas. La cantidad de ceras dificulta su brillo y permite la formación de sedimentos. Existen estudios sobre el residuo sólido de café donde utilizan al éter de petróleo como solvente, otra alternativa para utilizar como solvente extractor que podría considerarse para investigar si se producen ceras, o si es otro el factor determinante de el alto contenido de las mismas. La cantidad insignificante de jabón y gomas reportadas en ambas muestras facilitan el blanqueado del mismo

Obtenidos los resultados del presente trabajo de graduación se procedió a su almacenaje a temperatura ambiente, transcurridas 2 semanas se observaron en ambas muestras una nube de sedimentos en la parte inferior del recipiente donde se encontraba la muestra, cabe diferenciar que se observó mayor cantidad de sedimentos en la fracción lipídica en la planta de café soluble. Claramente se demuestra que la fracción lipídica contiene altas cantidades de ceras, parte de jabones y gomas. Por ende se evidencia que para utilizar la fracción lipídica para cualquier aplicación es necesaria la refinación del mismo.

Realizando una síntesis de los índices de calidad presentados de la fuente de expendios de café bebible se concluye que la fracción lipídica obtenida puede someterse a un proceso de refinación posterior a la extracción, ya que de esta manera sería posible reducir la cantidad de fósforos, fosfátidos ceras y humedad. El uso de antioxidantes ayudaría a la preservación del mismo.

Según los resultados de los índices de calidad obtenidos del residuo sólido de la planta de café soluble se presenta que debido al alto valor de acidez, peróxidos, ceras, fósforos y fosfátidos se dificulta la refinación de la fracción lipídica obtenida, ya que los valores se triplican en comparación con la fuente de restaurante.

La fracción lipídica del expendio de café bebible del restaurante No. 3 cumple con algunos parámetros para un aceite comestible, pero no en su totalidad dando margen a la investigación y búsqueda intensiva en el mejoramiento del proceso de extracción. Si se clasifica como un candidato para la industria alimentaria es necesario que la fracción lipídica cumpla con las regulaciones del CODEX *alimentarius*, y se especifique si se desea utilizar como aditivo a comidas, saborizante o coadyuvante entre otros.

Ambas fracciones lipídicas se consideran candidatas para el área de cosmetología junto a otros coadyuvantes cosméticos tal y como menciona Grollier F. Jean, PlessisSophie en la patente No. 4793990 debido a su alto contenido en ácidos grasos, ya que generalmente los productos son de 0,05 a 100 por ciento en peso de aceite de café. Existen otras aplicaciones de la fracción lipídica que podrían considerarse tales como: la elaboración de jabones, abonos orgánicos, lubricantes, velas, barnices y pinturas entre otros.

Es importante mencionar que, para todas las aplicaciones mencionadas, se necesita estudio más detallado para conocer con certeza si es viable a nivel laboratorio y posteriormente en la industria, el análisis de datos presentados generó un esquema de parámetros a considerar para mayor desarrollo de las mismas.

La mayoría de estudios se basan en aplicar el aceite como fuente de biodiésel, ya que durante la transesterificación se obtiene un rendimiento de 100 por ciento, haciéndolo viable para una fuente de producción de biodiésel. Sin embargo, se evidencia que los resultados obtenidos de ácidos grasos e índices de calidad permiten utilizar el aceite en otras aplicaciones previamente mencionadas que podrían incrementar la innovación en otros campos de la industria siendo, inclusive, más productivos.

Realizando un análisis de comparación con el trabajo de investigación de la ingeniera Lourdes María Ramírez Ovalle elaborado en el 2008 titulado: *Evaluación del rendimiento de extracción y caracterización del aceite fijo de café tostado tipo Genuino Antigua obtenido por el proceso de prensado* puede aseverarse que el rendimiento obtenido del residuo sólido de café (de ambas fuentes) fue significativamente mayor al obtenido mediante el café tostado tipo Genuino Antigua, considerándose un ahorro económico sumamente notable en materia prima, donde la cantidad de aceites grasos e incluso sus índices de calidad contienen diferencias insignificantes, las cuales hace viable la utilización de este aceite para aplicaciones de la industria.

CONCLUSIONES

1. La técnica extractiva utilizada para la extracción de la fracción lipídica obtenida a partir de residuo sólido de café, proveniente de tres restaurantes y planta de café soluble fue exitosamente realizada.
2. El rendimiento de extracción lipídica obtenido de las tres fuentes de restaurantes muestreadas, tuvo un valor de $12 \pm 0,71$ por ciento.
3. El rendimiento obtenido de la planta de café soluble fue de 20,64 por ciento, presentando un valor medio mayor de 8 por ciento entre las fuentes de restaurantes muestreadas.
4. La técnica extractiva a lo largo de los ciclos de extracción fue uniforme.
5. El procedimiento extractivo fue decreciente respecto a su fracción lipídica extractable.
6. La coordenada de decoloración obtenida mediante el método C I E $L^*a^*b^*$ de luminosidad (L^*), para ambas fuentes analizadas (restaurante y planta de café soluble) fue de un valor promedio alto de 92,47.
7. La coordenada de cromaticidad determinante b^* obtenida para la decoloración de la fracción lipídica mediante el método C I E $L^*a^*b^*$ de ambas fuentes analizadas (restaurante y planta de café soluble), obtuvo un valor promedio de 2,57 ubicada en el plano amarillo-azul.

8. Se determinó que el tiempo promedio óptimo de extracción sólido-líquido de la fracción lipídica obtenida a partir del residuo sólido de café para las 4 fuentes utilizadas fue de 2,11 horas con una correlación polinomial $FLD = a \theta^5 - b \theta^4 + c \theta^3 - d \theta^2 + e \theta - d = 0$. Siendo $y = FLD$ (fracción lipídica disuelta) y $x = \theta$ (tiempo).
9. Según perfil de ácidos grasos, ambas muestras de fracción lipídica obtenidas contenían, principalmente ácido palmítico saturado y ácido linoléico poliinsaturado en un 34 y 46 por ciento, respectivamente.
10. Los índices de calidad más significativos para caracterizar a la fracción lipídica obtenida del residuo sólido de café de una planta de café soluble y de expendios de café bebible fueron: índice de acidez, el valor de peróxidos, fosfátidos, ceras y TOTOX.

RECOMENDACIONES

1. La molienda del residuo sólido de café a partir de la planta de café soluble no debe de ser muy fina, debido a que estos pueden convertirse en lodos cuando se realice la extracción, provocando disminución en el rendimiento de la fracción lipídica de café.
2. La fracción lipídica obtenida de residuo sólido de café de planta de café soluble y expendios de café bebible, pueden almacenarse a temperatura ambiente.
3. Continuar con el estudio del residuo sólido agotado de café después de la extracción, para un posterior estudio de dextrinización.
4. Continuar estudios sobre la recuperación de cafeína en el sólido residual agotado insoluble y en la fracción lipídica obtenida de café.
5. Continuar con el estudio de rendimiento de la fracción lipídica a partir de su región, altitud, origen (arábica o robusta) tostado y tamaño del residuo sólido de café.
6. Continuar con el estudio de las posibles aplicaciones en la industria de la fracción lipídica obtenida a partir del residuo sólido de café.
7. Estudiar y analizar los ácidos grasos e índices de calidad de la fracción lipídica, a partir de residuos sólidos de café clasificados según especie (arábica o robusta).

8. Continuar con el estudio de la obtención de la fracción lipídica a escala planta piloto e industrial, comparar la calidad del aceite, rendimiento, y si es recomendable, aplicarse en el escalamiento.
9. Continuar con el estudio de la determinación de cafestol y el kawheol en la fracción lipídica obtenida del residuo sólido de café.

BIBLIOGRAFÍA

1. AGUIRRE B, Francisco *La utilización industrial del grano de café y de sus subproductos*. El Salvador: Instituto Centroamericano de investigación y tecnología industrial, 1966. 33 p.
2. BATTANER ARIAS, Enrique. *Biomoléculas*. [en línea] <http://books.google.com.gt/books?id=VW3n0WL5DF8C&printsec=frontcover&dq=biomoleculas+Enrique+Battaner+Arias&hl=es&sa=X&ei=IRvIUluyDYyi8gSYn4GoCw&ved=0CDQQ6wEwAA#v=onepage&q&f=false>. [Consulta: 28 de febrero de 2013].
3. CHAIYA, Chaiyan. *Production of Bio Oil from Coffee residue using Pyrolysis process*. Proceedings of the world Congress on Engineering and Computer Science Vol II. Estados Unidos, 2011. 3 p.
4. CLINTON, Et al. *Process for producing aromatized freeze dried coffee*. Estados Unidos, 1975. 3 p.
5. DELIGIANNIS A, PAPAZAFEIROPOULOU A. et;al. *Waste Coffee Ground as an Energy Feedstock*. Laboratory of Fuel Technology and Lubricants, school of Chemical Engineering. National Technical University of Athens, Greece. Atenas, 2012. 6 p.

6. DTEFFENBACHER, A. Inventor. Solicitante: Societe des produits Nestle S.A. *Un procedimiento para obtener aceite de café mejorado*. Suiza. 1980. 5 p.
7. HAMELL, et al. *Stabilization of purified coffee oil*. Estados Unidos. 1979. 4 p.
8. HENLEY E. J., Seader J. D. *Operaciones de separación por etapas de equilibrio en Ingeniería Química*. México: Reverté, 2000. 814 p.
9. LAINFIESTA, López *Análisis mediante termogravimetría (640 mm Hg) de dos caolines, para la obtención de metacaolín por activación térmica*. Trabajo de graduación de Ing. Química. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2010. 200 p.
10. MARTÍNEZ, de la Cuesta Pedro J.; MARTÍNEZ, Eloísa. *Operaciones de separación en ingeniería química-métodos de cálculo*. Madrid: Pearson, 2004. 1010 p.
11. MELENDREZ, Luis Diego. *Evaluación de propiedades fisicoquímicas y fitoquímicas de la fracción lipídica en la semilla del fenogreco (Trigonella foenum-graecum L.) obtenida a nivel laboratorio, utilizando el método de extracción por decocción*. Trabajo de graduación de Ing. Química. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2010. 166 p.
12. MOLINA, Luis; GARCÍA, Oswaldo; GARCÍA, Miguel. *Modelo CIELab*. [en línea] <http://www.slideshare.net/rhcpluis14/modelo-cie-lab-2855839>. [Consulta: 23 de marzo de 2013].

13. PILERO. *Lixiviación*. <http://www.lixiviacion.com/pagina/lixiviacion-definición>. [Consulta: 6 de febrero de 2013].
14. RAMÍREZ, Lourdes María. *Evaluación del rendimiento de extracción y caracterización del aceite fijo de café tostado tipo genuino antigua obtenido por el proceso de prensado*. Trabajo de graduación de Ing. Química. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2010. 118 p.
15. ROH, Jinkyu; UMH Nee; et.al *Waste coffee grounds as potential biob sorbents for removal of acid dye 44 from aqueous solution*. Kwangwoon, 2011. 5 p.
16. ROSELIUS, Wilhelm, et, al. *Procedimiento para la obtención de aceite de café conteniendo componentes de aroma a partir de café tostado*. Alemania, 1971. 5 p.
17. SATTERHWAITE, Robert; IWINSKI, Donald J. *Starch Dextrins*. Technical Service. Second edition. Argo Illinois: Academic Press, Inc, 1973. 772 p.
18. SOBERANIS, Adrián Antonio. *Evaluación de propiedades fisicoquímicas de la oleoresina de cardamomo (*Elletteriacardamomum*, L. Matton) obtenida a nivel laboratorio utilizando dos métodos de lixiviación a tres diferentes temperaturas*. Trabajo de graduación de Ing. Química. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2010. 166 p.

19. SOLÁ, Albert. *Tostado y molido del café*. [en línea] <http://www.infocafes.com/descargas/biblioteca/18.pdf>. [Consulta: 7 de marzo de 2013].
20. SOTO VERGARA, Jorge. *Del trazo al chip la técnica gráfica y sus sistemas*. [en línea] <http://www.proyectacolor.cl/aplicacion-del-color/modelos-de-color/modelo-cie/>. [Consulta: 8 de febrero de 2013].
21. UNIVERSIDAD DEL PAÍS VASCO *Biomoléculas*. [en línea] <http://www.ehu.es/biomoleculas/1b/pdf/lipidos.pdf>. [Consulta: 08 de marzo de 2013].
22. WAGNER, Regina. *Historia del café de Guatemala*. [en línea] <http://books.google.com.gt/books?id=z8GpZWsAjXsC&pg=PT76&dq=proceso+elaboraci%C3%B3n+cafe+guatemala&hl=es&sa=X&ei=QVzbUND9I4T88QSuhICQCQ&ved=0CDAQ6AEwAA#v=onepage&q&f=false>. [Consulta: 10 de abril de 2013].
23. WALPOLE, Ronald, et;al. *Probabilidad & estadística para Ingeniería & Ciencias*. Octava edición. México: Prentice-Hall, 2007. 752 p.

APÉNDICES

Muestra de cálculo

Apéndice 1. **Determinación del porcentaje de rendimiento de fracción lipídica de residuo sólido de café**

Se obtiene a partir de una relación entre la materia prima y fracción lipídica obtenida.

$$\%R = \frac{\text{Fracción lipídica obtenida (g)}}{\text{Materia prima utilizada (g)}} * 100$$

Donde:

%R: porcentaje de rendimiento.

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. **Determinación de densidad del extracto de fracción lipídica y hexano durante la extracción sólido-líquido**

$$\rho = (p - p \text{ tara})$$

Donde:

ρ : densidad del extracto (g/mL)

p: peso de picnómetro (g)

p tara: peso tara del picnómetro (g)

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3. **Determinación de fracción lipídica disuelta durante la extracción sólido-líquido de residuo sólido de café y solvente**

$$FLD = \rho \left(\frac{g}{ml} \right) \times (1 - \%h)$$

Donde:

FLD : fracción lipídica disuelta

ρ : densidad del extracto (g/mL)

%h: porcentaje de hexano evaporado

%FL : fracción lipídica

Fuente: elaboración propia, con base a datos obtenidos por autor y otros documentos investigados.

DATOS CALCULADOS

Apéndice 4. **Porcentaje de rendimiento de la fracción lipídica clarificada de residuo sólido de café (restaurante No. 1)**

RESTAURANTE 1	% RENDIMIENTO	
	Corrida 1	Corrida 2
Corrida estándar	13,47	11,56
Temperatura (45°C)	13,51	12,01
RPM (400)	12,31	11,66
Tiempo (40min)	12,05	12,45
No de ciclos (2)	12,26	12,31
	Promedio	12,359
	Desviación estándar.	0,660

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 5. **Porcentaje de rendimiento de la fracción lipídica clarificada de residuo sólido de café (restaurante No. 2)**

	%RENDIMIENTO	
	Corrida 1	Corrida 2
RESTAURANTE 2		
Corrida estándar	12,18	12,51
Temperatura (45°C)	13,06	12,85
RPM (400)	12,57	11,18
Tiempo (40min)	12,07	12,34
No de ciclos (2)	12,85	11,38
	Promedio	12,299
	Desviación estándar.	0,589

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 6. **Porcentaje de rendimiento de la fracción lipídica clarificada de residuo sólido de café (restaurante No. 3)**

	% RENDIMIENTO	
	Corrida 1	Corrida 2
RESTAURANTE 3		
Corrida estándar	12,88	12,41
Temperatura (45°C)	13,3	12,53
RPM (400)	10,76	13,47
Tiempo (40min)	13,05	12,65
No de ciclos (2)	11,13	12,29
	Promedio	12,447
	Desviación estándar.	0,880

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 7. **Porcentaje de rendimiento de la fracción lipídica clarificada de residuo sólido de café (planta de café soluble)**

RESTAURANTE 4	% RENDIMIENTO	
	Corrida 1	Corrida 2
Corrida estándar	19,53	17,58
Temperatura (45°C)	20,45	22,16
RPM (400)	21,39	21,5
Tiempo (40min)	20,76	20,11
No de ciclos (2)	20,91	22,03
	Promedio	20,642
	Desviación estándar.	1,35

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 8. **Determinación de porcentaje de cenizas a partir de una muestra de residuo sólido de café de cada fuente utilizada**

Fuente	Cenizas	% de cenizas
Restaurante 1	0,0151	1,51
Restaurante 2	0,0172	1,72
Restaurante 3	0,025	2,5
Planta de café soluble	0,0147	1,47

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 9. **Prueba de cenizas para cada fuente de residuo sólido de café**

Fuente	Tara crisol (g)	Crisol+materia prima (g)	Cenizas (g)	% de cenizas
Restaurante 1	16,612	16,627	0,0151	1,51
Restaurante 2	16,462	16,479	0,0172	1,72
Restaurante 3	16,61	16,636	0,025	2,5
Planta de café soluble	16,463	16,477	0,0147	1,47

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 10. **Nivel de blancura del soporte para la medición de color para el aceite clarificado mediante el método C I E L*a*b***

	Blanco	
	Restaurante 3	Planta de café soluble
Luminosidad L	91	92,23
Cromaticidad a	0,35	-0,83
Cromaticidad b	10,75	8,3
c	10,76	8,35
h	88,12	95,69

NOTA: se utilizó un programa de internet para transformar las coordenadas L.A.B a R.G.B.

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 11. Rendimiento de la fracción lipídica obtenida a partir de maceración dinámica, filtración y destilación al vacío con fin de obtener mayor cantidad de aceite fijo para su posterior análisis de índices de calidad

No. de extracción	Materia prima (g)	Tara balón (g)	Peso total (g)	Fracción lipídica (g)	Rendimiento	%R	Media (x)	Desviación estándar
1	312,5	311,87	348,67	36,8	0,11776	11,776	12,412	0,44
2	312,5	311,83	350,96	39,13	0,125216	12,521		
3	312,5	309,16	348,38	39,22	0,125504	12,550		
4	312,5	309,85	349,85	40	0,128	12,8		
Total				155,15	Promedio	12,412		
					Desviación estándar	0,44		

Fuente: elaboración propia

Apéndice 12. Rendimiento de la fracción lipídica de la planta para obtención de café soluble obtenida a partir de maceración dinámica, filtración y destilación al vacío con fin de obtener mayor cantidad de aceite fijo para su posterior análisis de índices de calidad

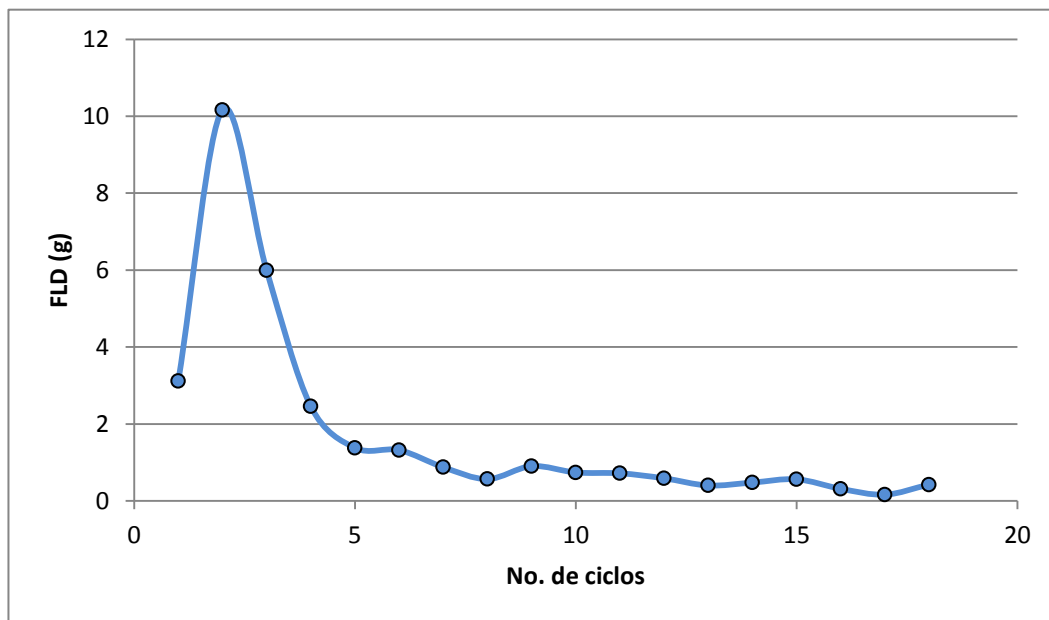
No. De extracción	Materia prima (g)	Tara balón (g)	Peso total (g)	Fracción lipídica (g)	Rendimiento	%R	Media (x)	Desviación estándar
1	257,58	309,16	346,2	37,05	0,14383	14,383	15,403	0,96
2	257,58	309,04	351	41,96	0,16290	16,290		
3	257,58	309,1	349,12	40,02	0,15536	15,536		
Total				119,03	Promedio	15,403		
					Desviación estándar	0,96		

Fuente: elaboración propia.

Fracción lipídica disuelta

Se realizaron 4 monitoreos de la fracción lipídica disuelta a partir del residuo sólido de café durante la extracción sólido-líquido, donde se estudió su comportamiento respecto al número de ciclos y el tiempo de extracción.

Apéndice 13. **Fracción lipídica disuelta (FLD a partir de residuo sólido de café) en función del número de ciclos durante extracción sólido-líquido (restaurante 1)**



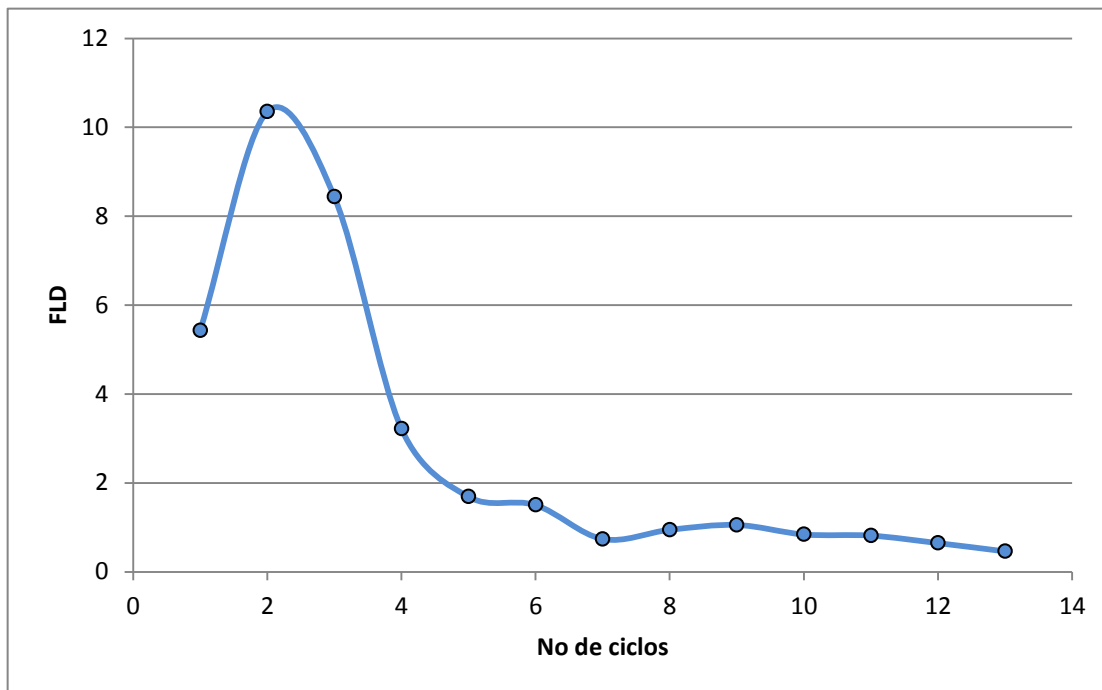
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 14. **Comportamiento de fracción lipídica disuelta a partir de residuo sólido de café en función de número de ciclos durante extracción sólido-líquido del restaurante No.1**

No ciclos	Hora	Tiempo (h)/ ciclo	ρ (g/ml)	% Hexano	Fracción fluida (%)	FLD
1	12,48		0,8599	96,38	3,62	3,1128
2	12,59	0,11	0,8771	88,41	11,59	10,1656
3	13,12	0,13	0,8714	93,12	6,88	5,9952
4	13,22	0,1	0,8564	97,13	2,87	2,4579
5	13,3	0,08	0,851	98,38	1,62	1,3786
6	13,38	0,08	0,8679	98,48	1,52	1,3192
7	13,46	0,08	0,8573	98,98	1,02	0,8744
8	13,54	0,08	0,8589	99,34	0,66	0,5669
9	14,03	0,09	0,8591	98,95	1,05	0,9020
10	14,11	0,08	0,8574	99,14	0,86	0,7374
11	14,2	0,09	0,8526	99,16	0,84	0,7162
12	14,29	0,09	0,8503	99,31	0,69	0,5867
13	14,37	0,08	0,8506	99,53	0,47	0,3998
14	14,45	0,08	0,8493	99,44	0,56	0,4756
15	14,53	0,08	0,8498	99,34	0,66	0,5609
16	15,01	0,08	0,8484	99,63	0,37	0,3139
17	15,09	0,08	0,8497	99,81	0,19	0,1614
18	15,16	0,07	0,8462	99,5	0,5	0,4231

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 15. **Fracción lipídica disuelta (FLD) a partir de residuo sólido de café en función del número de ciclos durante extracción sólido-líquido (restaurante 2)**



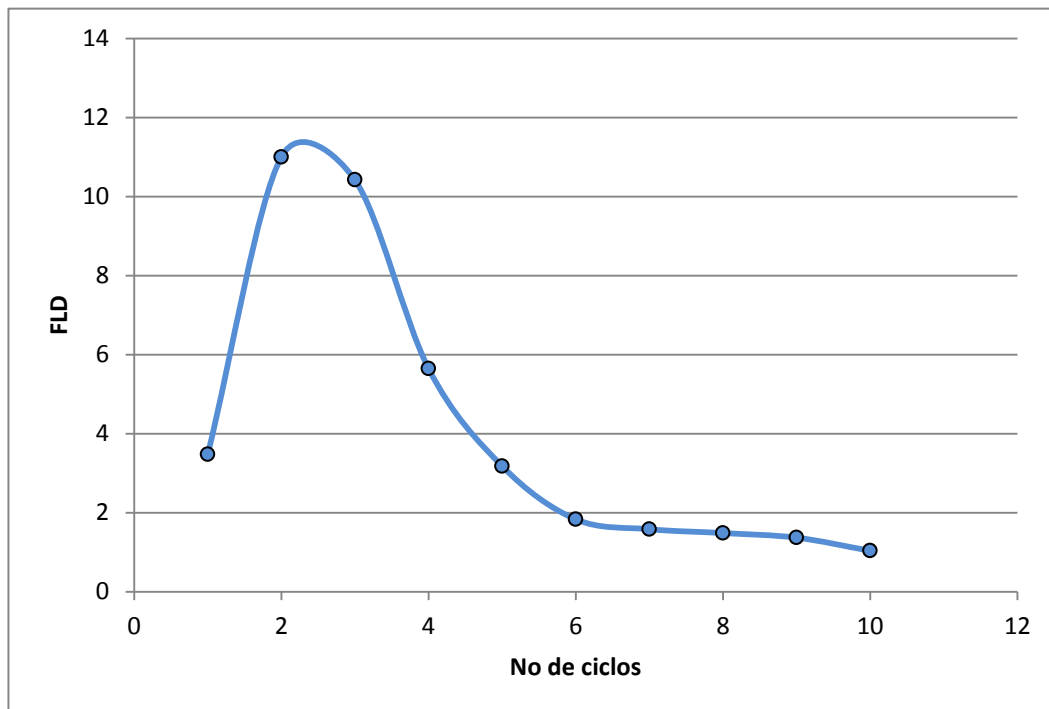
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 16. Comportamiento de fracción lipídica disuelta a partir de residuo sólido de café en función de número de ciclos durante extracción sólido-líquido del restaurante No.2

No ciclos	Hora	Tiempo (h)/ ciclo	ρ (g/ml)	% h	Fracción fluida (%)	FLD
1	14,45		0,8699	93,76	6,24	5,4282
2	14,55	0,1	0,8871	88,33	11,67	10,352
3	15,09	0,14	0,8751	90,36	9,64	8,4359
4	15,22	0,13	0,8499	96,21	3,79	3,2211
5	15,35	0,13	0,858	98,03	1,97	1,6903
6	15,48	0,13	0,8536	98,24	1,76	1,5023
7	16,01	0,13	0,848	99,13	0,87	0,7378
8	16,14	0,13	0,8514	98,89	1,11	0,9450
9	16,26	0,12	0,8713	98,79	1,21	1,0543
10	16,39	0,13	0,8667	99,03	0,97	0,8407
11	16,52	0,13	0,8578	99,05	0,95	0,8149
12	17,04	0,12	0,8618	99,25	0,75	0,6463
13	17,17	0,13	0,8529	99,46	0,54	0,4606

Fuente: elaboración propia

Apéndice 17. **Fracción lipídica disuelta (FLD) a partir de residuo sólido de café en función del número de ciclos durante extracción sólido-líquido (restaurante 3)**



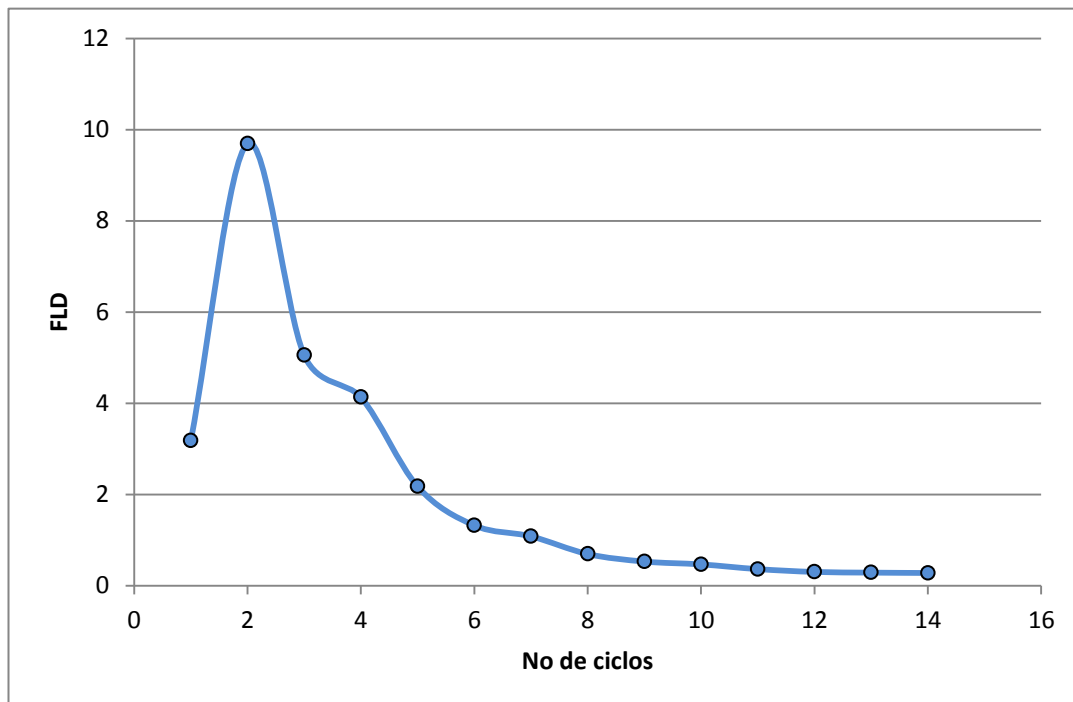
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 18. Comportamiento de fracción lipídica disuelta a partir de residuo sólido de café en función de número de ciclos durante extracción sólido-líquido del restaurante No.3

No ciclos	Hora	Tiempo (h)/ ciclo	ρ (g/ml)	% h	Fracción fluida (%)	FLD
1	11,52		0,799	95,65	4,35	3,4756
2	12,04	0,12	0,81	86,42	13,58	10,999
3	12,18	0,14	0,8077	87,1	12,9	10,419
4	12,34	0,16	0,7923	92,87	7,13	5,6491
5	12,52	0,18	0,7952	96	4	3,1808
6	13,12	0,2	0,8014	97,71	2,29	1,8352
7	13,3	0,18	0,792	98	2	1,584
8	13,48	0,18	0,7994	98,14	1,86	1,4869
9	14,06	0,58	0,7967	98,28	1,72	1,3703
10	14,24	0,18	0,7934	98,69	1,31	1,0393

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 19. **Fracción lipídica disuelta (FLD) a partir de residuo sólido de café en función del número de ciclos durante extracción sólido-líquido (Planta de café soluble)**



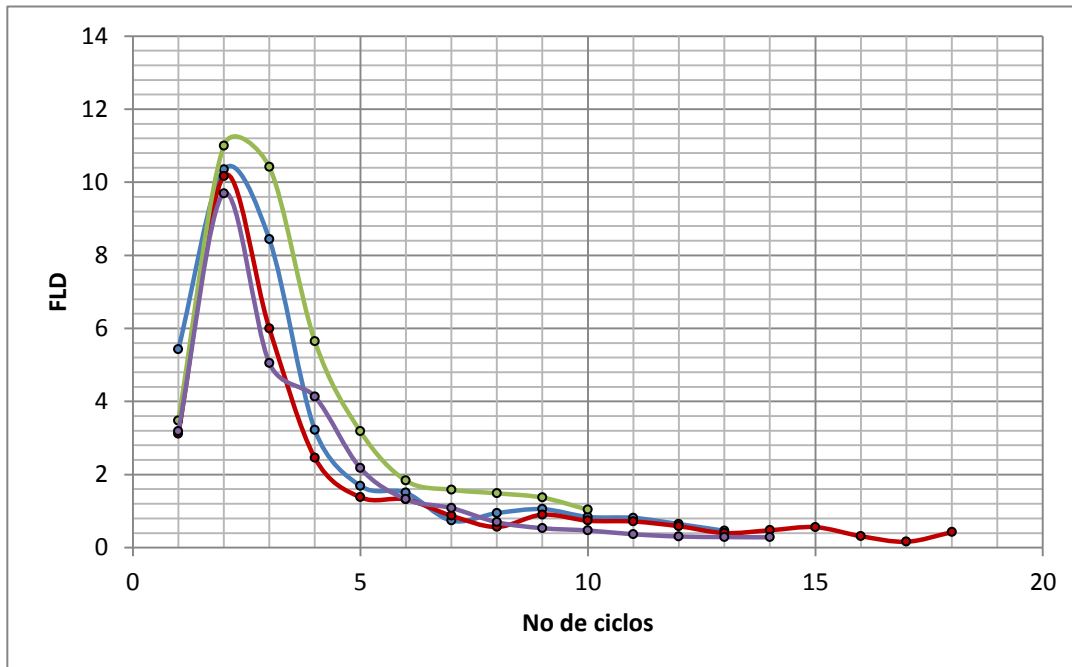
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 20. **Comportamiento de fracción lipídica disuelta a partir de residuo sólido de café en función de número de ciclos durante extracción sólido-líquido del la planta de café soluble**

No ciclos	Hora	Tiempo (h)/ ciclo	ρ (g/ml)	% h	Fracción fluida (%)	FLD
1	9,27		0,8053	96,05	3,95	3,180935
2	9,47	0,2	0,8172	88,14	11,86	9,691992
3	10	0,13	0,7944	93,64	6,36	5,052384
4	10,11	0,11	0,7905	94,77	5,23	4,134315
5	10,23	0,12	0,789	97,24	2,76	2,17764
6	10,34	0,11	0,7886	98,32	1,68	1,324848
7	10,45	0,11	0,7859	98,62	1,38	1,084542
8	10,55	0,1	0,7837	99,11	0,89	0,697493
9	11,05	0,1	0,7827	99,32	0,68	0,532236
10	11,17	0,12	0,7836	99,4	0,6	0,47016
11	11,27	0,1	0,78	99,53	0,47	0,3666
12	11,38	0,11	0,7821	99,61	0,39	0,305019
13	11,49	0,11	0,7832	99,63	0,37	0,289784
14	12,01	0,12	0,7832	99,64	0,36	0,281952

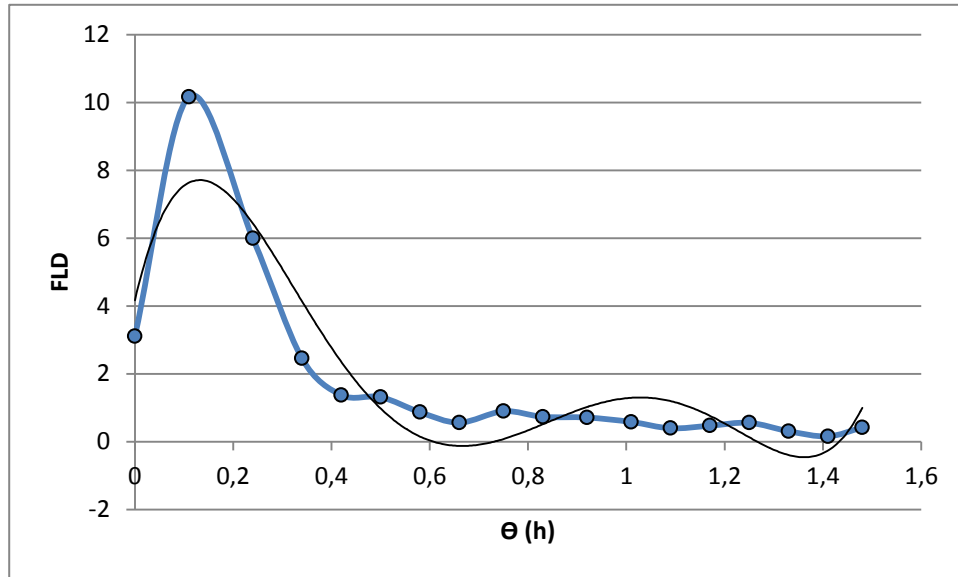
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 21. **Gráfica comparativa a partir de las 4 fuentes de residuo sólido de café utilizadas de Fracción lipídica disuelta (FLD) en función de su número de ciclos**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 22. Fracción lipídica disuelta (FLD) a partir de residuo sólido de café en función del tiempo (Θ) durante extracción sólido-líquido (restaurante 1)



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 23. Proyección tiempo óptimo de extracción de fracción lipídica disuelta (FLD) a partir de residuo sólido de café durante extracción sólido-líquido del restaurante No.1

Ecuación polinomial:	$FLD = 99,81 \Theta^5 - 397,8 \Theta^4 + 565,1 \Theta^3 - 331,6 \Theta^2 + 61,65 \Theta - 94,83$
R^2	0,854
Donde $y = FLD$ (Fracción lipídica disuelta)	$x = \Theta$ (horas)
Idealmente FDL = 99	$\Theta = 1,92$
Por ende el tiempo de extracción óptimo: 1,92 horas	

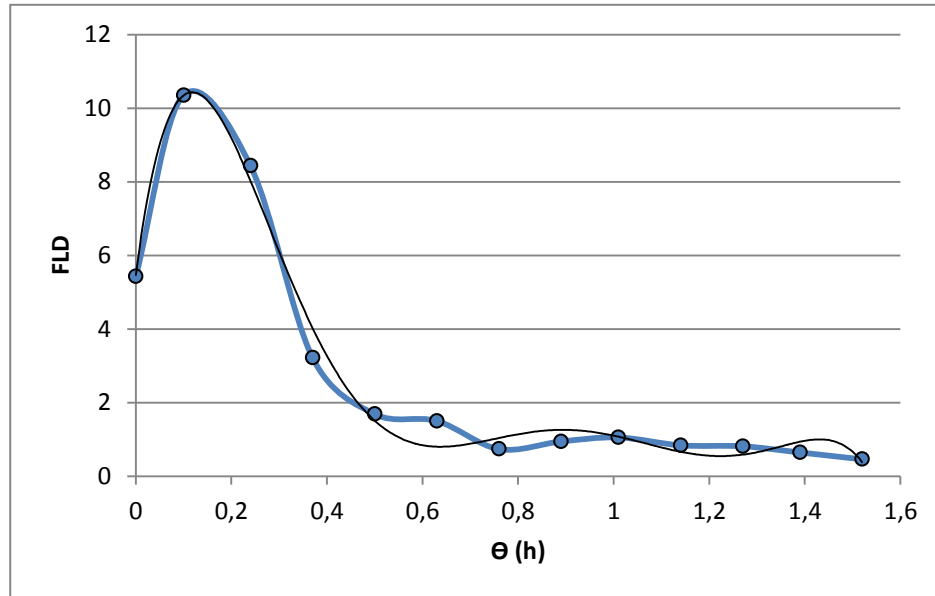
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 24. **Comportamiento de fracción lipídica disuelta (FLD) a partir de residuo sólido de café en función del tiempo (Θ) durante extracción sólido-líquido del restaurante No.1**

$\Theta(h)$ / ciclo	Θ (h)	FLD
	0	3,1128
0,11	0,11	10,165
0,13	0,24	5,9952
0,1	0,34	2,4578
0,08	0,42	1,3786
0,08	0,5	1,3192
0,08	0,58	0,8744
0,08	0,66	0,5668
0,09	0,75	0,9020
0,08	0,83	0,7373
0,09	0,92	0,7161
0,09	1,01	0,5867
0,08	1,09	0,3997
0,08	1,17	0,4756
0,08	1,25	0,5608
0,08	1,33	0,3139
0,08	1,41	0,1614
0,07	1,48	0,4231

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 25. **Fracción lipídica disuelta (FLD) a partir de residuo sólido de café en función del tiempo (Θ) durante extracción sólido-líquido (restaurante 2)**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 26. **Proyección tiempo óptimo de extracción de fracción lipídica disuelta (FLD) a partir de residuo sólido de café durante extracción sólido-líquido del restaurante No.2**

Ecuación polinomial:	$y = 84,85 \Theta^5 - 354,0 \Theta^4 + 526,1 \Theta^3 - 321,7 \Theta^2 + 60,16 \Theta - 93$
R ²	0,946
Donde y= FLD (Fracción lipídica disuelta)	x = Θ (horas)
Idealmente FDL = 99	$\Theta = 1,99$
Por ende el tiempo de extracción óptimo: 1,99 horas,	

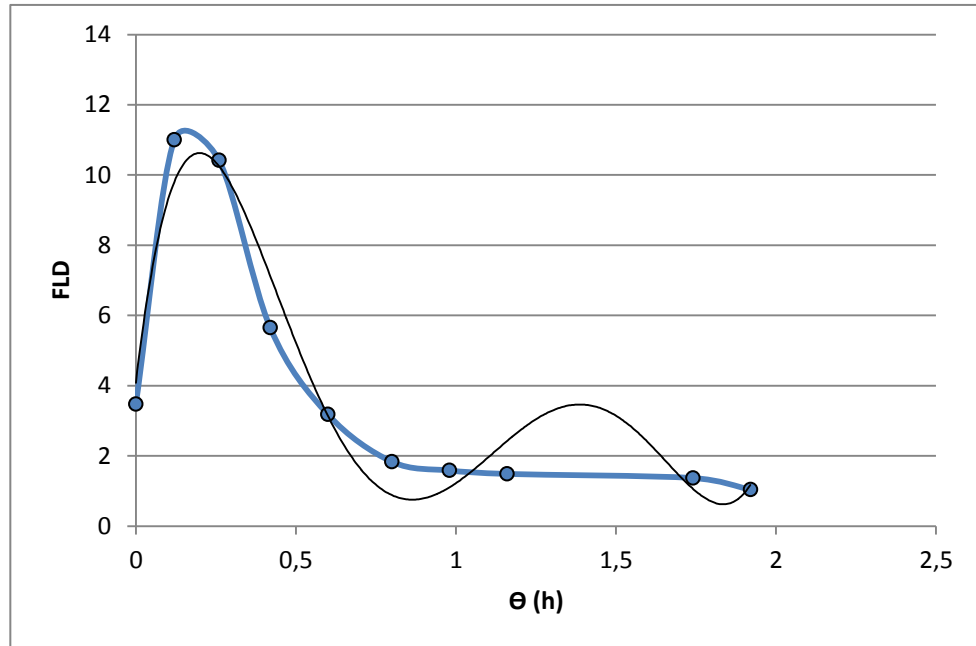
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 27. **Comportamiento de fracción lipídica disuelta (FLD) a partir de residuo sólido de café en función del tiempo (Θ) durante extracción sólido-líquido del restaurante No.2**

Θ (h)/ ciclo	Θ (h)	FLD
	0	5,4281
0,1	0,1	10,352
0,14	0,24	8,4359
0,13	0,37	3,2211
0,13	0,5	1,6902
0,13	0,63	1,5023
0,13	0,76	0,7377
0,13	0,89	0,9450
0,12	1,01	1,0542
0,13	1,14	0,8406
0,13	1,27	0,8149
0,12	1,39	0,6463
0,13	1,52	0,4605

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 28. **Fracción lipídica disuelta (FLD) a partir de residuo sólido de café en función del tiempo (θ) durante extracción sólido-líquido (restaurante 3)**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 29. **Proyección tiempo óptimo de extracción de fracción lipídica disuelta (FLD) a partir de residuo sólido de café durante extracción sólido-líquido del restaurante No.3**

Ecuación polinomial:	$y = 35,38 \Theta^5 - 189,5 \Theta^4 + 362,2 \Theta^3 - 288,3 \Theta^2 + 77,38 \Theta - 94,92$
R ²	0,951
Donde y= FLD (Fracción lipídica disuelta)	x = Θ (horas)
Idealmente FDL = 99	$\Theta = 2,48$ h
Por ende el tiempo de extracción óptimo: 2,48 horas	

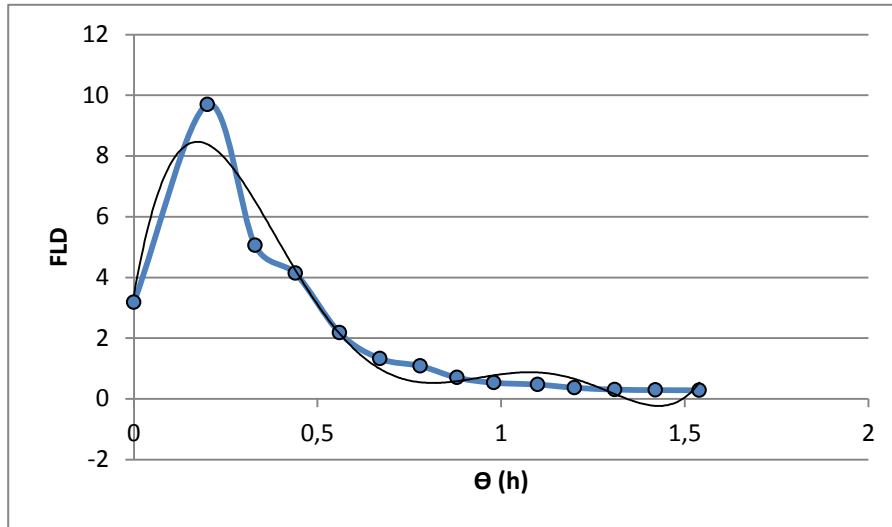
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 30. **Comportamiento de fracción lipídica disuelta (FLD) a partir de residuo sólido de café en función del tiempo durante extracción sólido-líquido del restaurante No.3**

Θ (h)/ ciclo	Θ (h)	FLD
	0	3,4756
0,12	0,12	10,999
0,14	0,26	10,419
0,16	0,42	5,6490
0,18	0,6	3,1808
0,2	0,8	1,8352
0,18	0,98	1,5842
0,18	1,16	1,4868
0,58	1,74	1,3703
0,18	1,92	1,0393

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 31. **Fracción lipídica disuelta (FLD) a partir de residuo sólido de café en función del tiempo (Θ) durante extracción sólido-líquido (planta de café soluble)**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 32. **Proyección tiempo óptimo de extracción de fracción lipídica disuelta (FLD) a partir de residuo sólido de café durante extracción sólido-líquido de planta de café soluble**

Ecuación polinomial:	$y = 63,64 \Theta^5 - 277,9 \Theta^4 + 440,6 \Theta^3 - 297,9 \Theta^2 + 68,95 \Theta - 95,59$
R^2	0,946
Donde $y =$ FLD (Fracción lipídica disuelta)	$x = \Theta$ (horas)
Idealmente FDL = 99	$\Theta = 2,08$ h
Por ende el tiempo de extracción óptimo: 2,08 horas	

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 33. **Comportamiento de fracción lipídica disuelta (FLD) a partir de residuo sólido de café en función del tiempo (Θ) durante extracción sólido-líquido de planta de café soluble**

Θ (h)/ ciclo	Θ (h)	FLD
	0	3,1809
0,2	0,2	9,6919
0,13	0,33	5,0523
0,11	0,44	4,1343
0,12	0,56	2,1776
0,11	0,67	1,3248
0,11	0,78	1,0845
0,1	0,88	0,6974
0,1	0,98	0,5322
0,12	1,1	0,4701
0,1	1,2	0,3666
0,11	1,31	0,3050
0,11	1,42	0,2897
0,12	1,54	0,2819

Fuente: elaboración propia.

Imágenes del proceso de elaboración de la fracción lipídica de café obtenido de
expendios de café bebible y planta de café soluble

Apéndice 34. **Secado de materia prima**



Fuente: Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales (LIEEXVE)

Apéndice 35. **Extracción soxhlet y medición de fracción lipídica
disuelta**



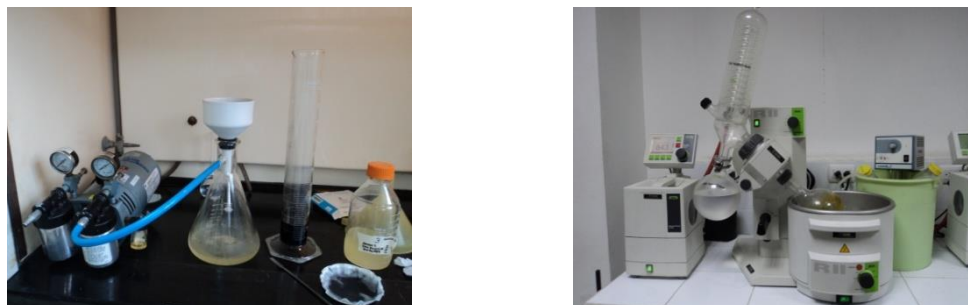
Fuente: Laboratorio de de Investigación de Extractos Vegetales (LIEEXVE)

Apéndice 36. **Extracción sólido-líquido con maceración dinámica**



Fuente: Laboratorio de de Investigación de Extractos Vegetales (LIXVE)

Apéndice 37. **Filtración y destilación al vacío**



Fuente: Laboratorio de de Investigación de Extractos Vegetales (LIXVE)

Apéndice 38. **Determinación de color por arrastre**



Fuente: Laboratorio de empresa de fabricación de tintas para impresión.

Apéndice 39. **Determinación de cenizas**



Fuente: Laboratorio de de Investigación de Extractos Vegetales (LIEXVE)

Apéndice 40. **Elaboración de pastillas de café a partir del residuo sólido de café**



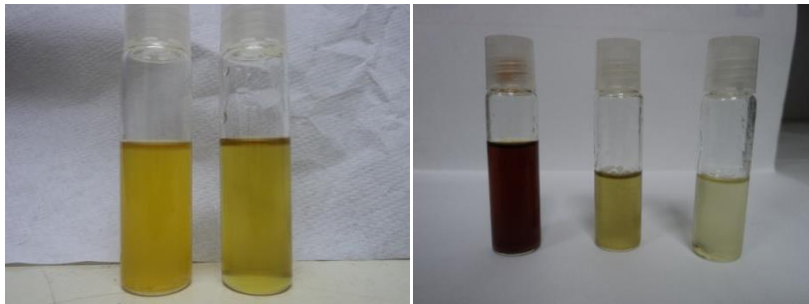
Fuente: Laboratorio de fisicoquímica–Facultad de Farmacia, USAC.

Apéndice 41. **Fracción lipídica clarificada**



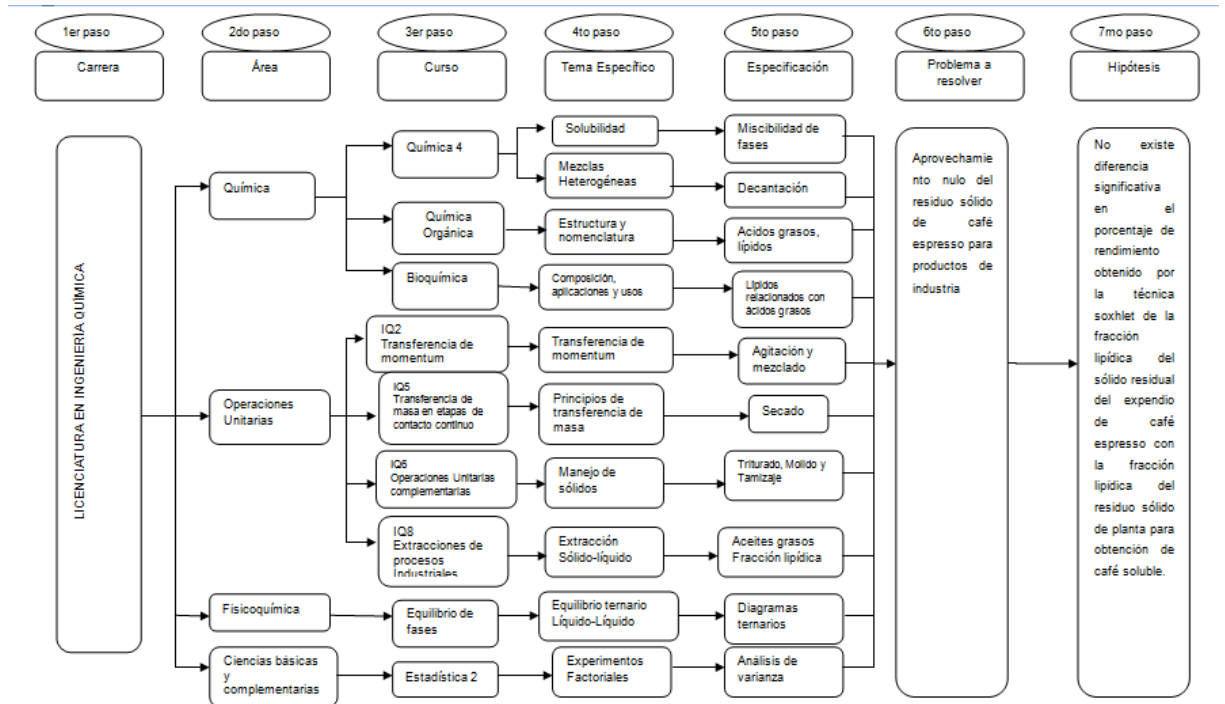
Fuente: Laboratorio de fisicoquímica–Facultad de Farmacia, USAC.

Apéndice 42. **Grado de decoloración fracción lipídica de café**



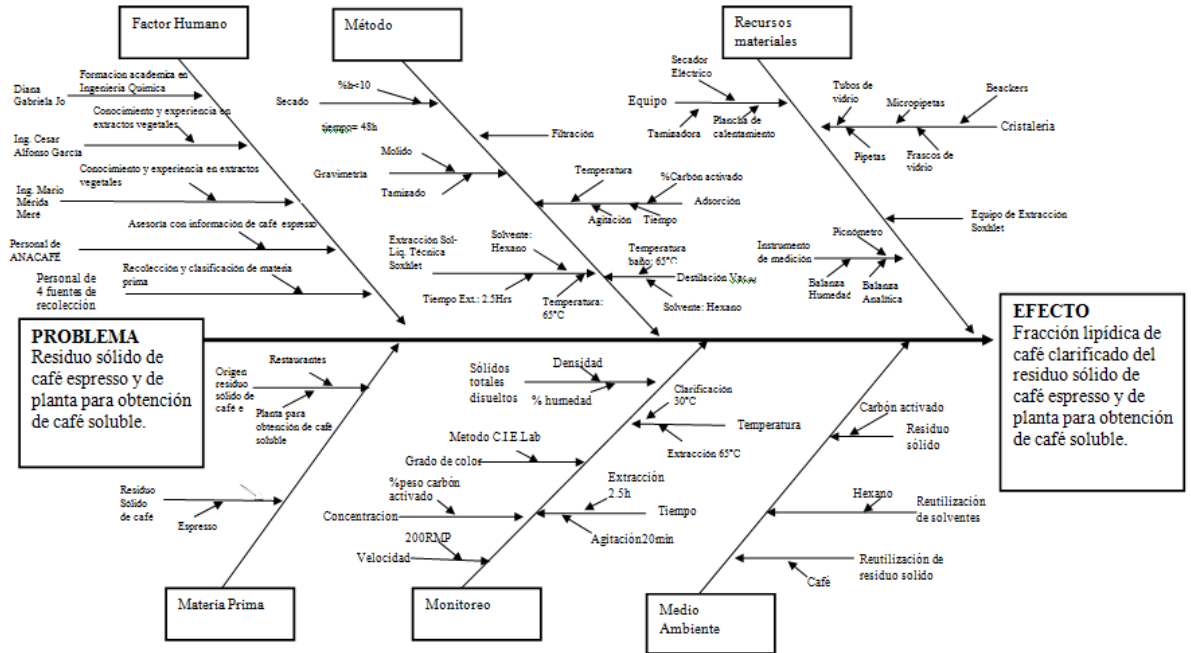
Fuente: Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales (LIECVE).

Apéndice 43. Diagrama de requisitos académicos



Fuente: elaboración propia.

Apéndice No. 44. Diagrama de Ishikawa

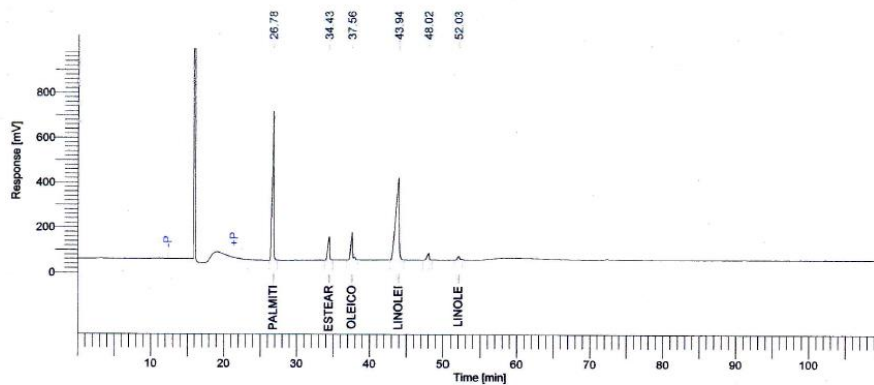


Fuente: elaboración propia.

ANEXOS

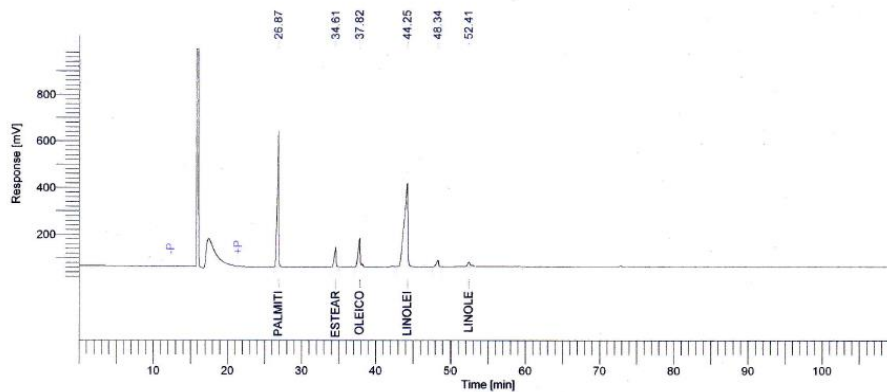
CROMATOGRAFÍA GASEOSA

Anexo 1. Perfil de ácidos grasos obtenido a partir del restaurante de mayor rendimiento



Fuente: Laboratorio de Físicoquímica, planta de elaboración de aceites comestibles.

Anexo 2. Perfil de ácidos grasos obtenido a partir de la planta de café soluble



Fuente: Laboratorio de Físicoquímica, planta de elaboración de aceites comestibles.

Anexo 3. **Diploma de participación de trabajo científico en VII Congreso Centroamericano de Ciencias Cosméticas realizado en ciudad de Guatemala 12 y 13 de septiembre 2013**



Fuente: Asociación Centroamericana de Ciencias Cosméticas.