

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



Extracción de aceite de café proveniente de la extracción en poso de café resultante de fabricación de bebida caliente tipo espresso para la producción de biodiésel

Trabajo de graduación en modalidad de tesis presentado por
Nory Celeste González Martínez
para optar al grado académico de Licenciada en Ingeniería Química

Guatemala,

2015

Extracción de aceite de café proveniente de la extracción en poso de café resultante de fabricación de bebida caliente tipo espresso para la producción de biodiésel

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería



Extracción de aceite de café proveniente de la extracción en poso de café resultante de fabricación de bebida caliente tipo espresso para la producción de biodiésel

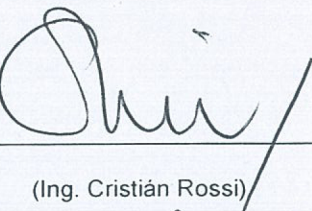
Trabajo de graduación en modalidad de tesis presentado por
Nory Celeste González Martínez
para optar al grado académico de Licenciada en Ingeniería Química

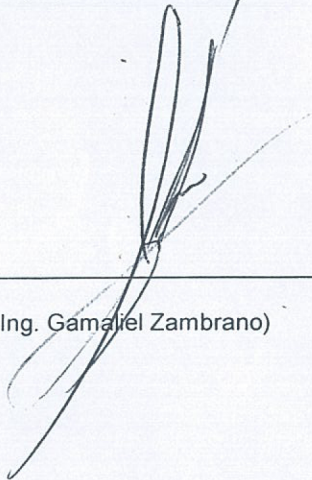
Guatemala,
2015

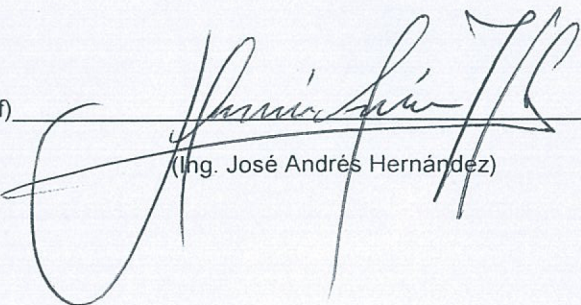
Vo. Bo.

(f) 
(Ing. Cristián Rossi)

Tribunal Examinador

(f) 
(Ing. Cristián Rossi)

(f) 
(Ing. Gamael Zambrano)

(f) 
(Ing. José Andrés Hernández)

Fecha de aprobación: Guatemala, 28 de enero de 2015

CONTENIDO

	Página
LISTA DE TABLAS	viii
LISTA DE FIGURAS	xii
RESUMEN	xviii
Capítulos	
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS	2
A. General	2
B. Específicos	2
III. JUSTIFICACIÓN	3
IV. MARCO TEÓRICO	5
A. Café y su composición química	5
B. Café tipo espresso	10
1. Café seleccionado bajo los criterios Starbucks	11
C. Aceite de café	12
1. Ácidos grasos libres y totales	16
2. Diterpeno	19
3. Esteroles	20
4. Tocoferoles	22
5. Otros compuestos	23
D. Extracción de Aceite de café	23
E. Desechos de café	26
F. Biodiésel	29
G. Investigación sobre biodiesel a partir de desechos de café	36
V. METODOLOGÍA	39
A. Secado del café	39
B. Tamizado del poso del café residual tipo espresso	40
C. Extracción de aceite de café con hexano a escala laboratorio	40
D. Destilación de aceite de café con hexano a escala laboratorio	41
E. Número ácido del aceite obtenido	42
F. Determinación de ácidos grasos por medios de cromatografía de gases	44

G.	Preparación de biodiesel	44
H.	Extracción por prensa hidráulica	45
I.	Extracción mecánica con expeller	45
VI.	RESULTADOS	47
VII.	DISCUSIÓN	55
VIII.	CONCLUSIONES	65
IX.	RECOMENDACIONES	66
X.	BIBLIOGRAFÍA	67
XI.	APÉNDICE	71
A.	Procedimiento	71
B.	Datos de placa de los equipos utilizados	73
1.	Equipo utilizado para el secado del café residual tipo espresso	73
2.	Equipo utilizado para tamizaje del café residual tipo espresso	74
3.	Cristalería y reactivos utilizados para la extracción de aceite del café residual tipo espresso	74
4.	Cristalería y equipo necesario para destilación y obtención del aceite de café residual tipo espresso	75
5.	Reactivos utilizados para la determinación del número ácido del aceite	76
6.	Reactivos y soluciones preparadas para la determinación de ácidos grasos del aceite de café	77
7.	Especificación de equipo y cristalería utilizada para producción de biodiesel	80
8.	Especificación de equipo utilizado para extracción de aceite por métodos mecánicos	80
C.	Datos intermedios	82
XII.	ANEXOS	89
XIII.	GLOSARIO	103

LISTA DE TABLAS

No.		Página
1.	Grupo de compuesto de algunos aromas del café verde	6
2.	Promedio de la composición química del grano de café según la especie, portenta- taje en base seca	7
3.	Compuestos volátiles identificados en los granos tostados de café	9
4.	Compuestos químicos de algunos defectos del café	9
5.	Composición promedio de lípidos en el aceite de café	13
6.	Rendimiento del contenido de aceite de café en relación a los diferentes tamices en base seca	14
7.	Propiedades químicas del aceite del café	14
8.	Propiedades físicas determinadas experimentalmente al aceite de café tipo Genuino Antigua	15
9.	Propiedades químicas determinadas experimentalmente al aceite de café tipo Genuino Antigua	16
10.	Propiedades de metil ester del aceite del café	16
11.	Total de ácidos grasos presentes determinados experimentalmente al aceite de café tipo Genuino Antigua	18
12.	Cromatografía de gases en la composición de ácidos grasos (%) del aceite del café según diferentes pruebas realizadas	18
13.	Composición de los ácidos grasos presentes en el aceite de café, determinados y cuantificados por cromatografía de gases	19
14.	Porcentaje de aceite y concentración de tocoferoles en aceite de granos verdes con diferentes orígenes	22
15.	Porcentaje en masa del aceite de café obtenido a partir de tres diferentes métodos	24
16.	Propiedades de la torta de café	25
17.	Composición química del poso del café	28
18.	Comparación de las propiedades de biodiésel y diésel	31
19.	Ventajas y desventajas del biodiesel	32
20.	Propiedades físicas de los ésteres obtenidos por la transesterificación de aceite vegetal	33
21.	Caracterización del biodiesel	38

22.	Porcentaje de aceite obtenido de las extracciones y destilaciones de café residual utilizando el método b y c descrito en la sección de metodología, realizado en el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala .	47
23.	Ácidos grasos identificados en el aceite del café por el cromatógrafo de gases HP 5890II/ChemStation, correspondientes a la décima, extracción realizada de aceite de café residual tipo espresso, prueba realizado en triplicado en el laboratorio de análisis instrumental avanzado en la Universidad del Valle de Guatemala	47
24.	Ácidos grasos presentes en la fase oleosa producida después de la reacción con metóxido (transesterificación) utilizando el aceite extraído de la última extracción realizada con el método de determinación de ácidos grasos por medio de cromatografía de gases	48
25.	Costo total de la extracción de aceite por método Soxhlet a partir de 10 ± 0.0001 g de café residual tipo espresso utilizando hexano y costo total de las destilaciones para su obtención	49
26.	Costo total para pruebas para producción de biodiesel (en triplicado) a partir de 10 g de poso de café residual tipo espresso y costo total de las etapas involucradas .	50
27.	Costo total para pruebas de extracción mecánica de aceite de café en triplicado utilizando prensa hidráulica a partir de 350 ± 0.0001 g de aceite de poso de café residual tipo espresso	51
28.	Comparación de la extracción a escala laboratorio por medio de Soxhlet y de extracción mecánica realizada para extracción de aceite de café	51
29.	Evaluación de la factibilidad técnica para la obtención de aceite por métodos mecánicos 132	54
30.	Datos de deshidratador de gabinete	73
31.	Datos de balanza digital	73
32.	Datos de balanza analítica digital.....	73
33.	Datos tamizador	74
34.	Especificación de hexano utilizado para extracción de aceite de café	74
35.	Especificaciones de la cristalería utilizada para la extracción de aceite de café ...	75
36.	Especificaciones equipo auxiliar necesario para extracción de aceite de café	75
37.	Cristalería necesaria para destilación de aceite de café	75
38.	Especificaciones del tolueno utilizado para la determinación del número ácido ...	76
39.	Especificaciones del alcohol isopropílico anhídrido utilizado para determinación de	

número ácido	76
40. Especificaciones del hidróxido de potasio utilizado para la titulación y determinación del número ácido	76
41. Especificaciones del ácido clorhídrico utilizado para determinación del número ácido	77
42. Cristalería utilizada para la determinación del número ácido	77
43. Especificación de reactivo utilizado para la determinación de ácidos grasos del aceite de café	77
44. Especificaciones de potenciómetro utilizado para la determinación del número ácido	78
45. Especificaciones del hidróxido de sodio utilizado para la determinación de ácidos grasos	78
46. Especificaciones del metanol utilizado para la determinación de ácidos grasos .	79
47. Soluciones preparadas para realizar cromatografía de gases	79
48. Equipo y cristalería utilizados para cromatografía de gases	79
49. Descripción del equipo utilizado, Cromatógrafo de Gases de Alta Resolución con Software HPChemMStation	80
50. Equipo y cristalería para realizar pruebas a escala laboratorio para la producción de biodiesel	80
51. Datos de placa de prensa hidráulica	81
52. Datos de placa del higrómetro - termómetro	81
53. Condiciones de operación de vapor vivo utilizado para la extracción mecánica con la prensa hidráulica	81
54. Costo estimado para el café residual tipo espresso utilizado (16,140±0.5 g)	82
55. Cantidad de poso de café secado y tasa de secado en el deshidratador de gabinete del Laboratorio de operaciones Unitarios durante 8 horas (480 min) para las primeras tres muestras de café recolectado de Staburcks	83
56. Granulometría de 250.000 ±0.001 g de café residual tipo espresso de Starbucks para las primeras tres corridas previas a realizarles extracción de aceite de café .	84
57. Granulometría de 200.000 ±0.001 g de café residual de percoladora de Starbucks	85
58. Porcentaje de aceite obtenido del triplicado de las extracciones y destilaciones de café residual proveniente de la percoladora utilizando el método b y c en la sección de metodología, realizado en el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala	86

59.	Costo para el secado de café residual tipo espresso utilizando el deshidratador de gabinete localizado en la en Laboratorio de Operaciones Unitarias en la Universidad del Valle de Guatemala	86
60.	Porcentaje de aceite obtenido de 15 extracciones realizadas en el Laboratorio de operaciones Unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala	87
61.	Comparación del hexano con otros disolventes	87
62.	Clasificación NFPA 704 (National Fire Protection Agency) para los distintos disolventes	88
63.	Contenido de ácidos en granos de café según la especie en base seca	88
64.	Niveles de tostado de los distintos cafés de Starbucks	88

LISTA DE FIGURAS

No.		Página
1.	Corte transversal del fruto del café	5
2.	Clasificación de ácidos grasos según el grado de saturación	17
3.	Estructura alcohol diterpeno cafestol	19
4.	Estructura del kahweol.....	19
5.	Estructura de estigmateriol	20
6.	Estructura de sitostero	20
7.	Estructura de campesterol	21
8.	Estructura de estigmastanol	21
9.	Estructura de campestanol	21
10.	Estructura de colesterol	22
11.	Estructura de colestanol	22
12.	Fórmula estructural de tocoferoles	23
13.	Estructura de escualeno	23
14.	Rendimiento de la extracción de aceite de café usando diferentes solventes	24
15.	Extracción mecánica realizada en Brasil	26
16.	Apariencia del poso del café	27
17.	Microscopía electrónica de barrido al poso de café con	27
18.	Reducción de emisiones utilizando biodiésel 100% vs. Diésel fósil 100%	30
19.	Reacción global	35
20.	Etapas	36
21.	Procedimiento establecido para la extracción de aceite de café proveniente del poso de café residual tipo espresso a escala laboratorio utilizando Soxhlet	50
22.	Procedimiento establecido para producción de biodiésel a escala laboratorio	51
23.	Procedimiento para la extracción mecánica de aceite de café con la prensa hidráulica en el Laboratorio de Operaciones Unitarias utilizando una fuerza de 97,860.42 N y vapor vivo a 43, 230.13 Pa.	53
24.	Procedimiento establecido para secado de poso de café residual tipo espresso ...	71
25.	Procedimiento establecido para la destilación de aceite de café del hexano	72
26.	Posición de bandejas para secado de café residual en el deshidratador de	

	gabinete marca Corbett Industries Inc., localizado en el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala.....	89
27.	Contenedor en donde se almacenaba el café residual después del secado (este incluía tapadera) localizado en el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala	89
28.	Tamizaje del café residual secado utilizando realizado en el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala por medio de tamizador marca W.S. Tyler	90
29.	Extracción Soxhlet realizada en el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala con cristalería marca Pyrex	90
30.	Destilación realizada en el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala con cristalería marca Pyrex	91
31.	Aceite de café obtenido después de la extracción y destilación realizadas en el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala con cristalería marca Pyrex	91
32.	Extracción mecánica con prensa hidráulica marca Carver realizada en el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala ..	92
33.	Reacción para producción de biodiésel a escala laboratorio realizada en el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala	92
34.	Separación de fases después de reacción de transesterificación realizado en el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala	93
35.	Muestras para analizar en cromatografía de gases siguiendo metodología establecida y realizado en la Universidad del Valle de Guatemala en el laboratorio de Análisis Instrumental Avanzado	93
36.	Cromatografía de gases 1 realizado por el cromatógrafo de gases HP 5890II/ChemStation localizado en el Laboratorio de Análisis Instrumental de la Universidad del Valle de Guatemala	94
37.	Cromatografía de gases, ácidos grasos presentes (1/2) realizado por el cromatógrafo de gases HP 589II/ChemStation localizado en el laboratorio de Análisis Instrumental Avanzado de la Universidad del Valle de Guatemala	95
38.	Cromatografía de gases, ácido grasos presentes (2/2) realizado por el cromatógrafo de gases HP 5890II/ChemStation localizado en el Laboratorio de Análisis Instrumental Avanzado de la Universidad del Valle de Guatemala	96

39.	Cromatografía de gases 2 realizado por el cromatógrafo de gases HP 5890II /ChemStation localizado en el laboratorio de Análisis Instrumental Avanzado de la Universidad del Valle de Guatemala	97
40.	Cromatografía de gases 2, ácidos grasos presentes (1/2) realizado por el cromatógrafo de gases HP 5890II/ChemStation localizado en el laboratorio de Análisis Instrumental Avanzado de la Universidad del Valle de Guatemala	98
41.	Cromatografía de gases, ácidos grasos presentes (2/2) realizado por el cromatógrafo de gases HP 5890II/ChemStation localizado en el laboratorio de Análisis Instrumental Avanzado de la Universidad del Valle de Guatemala	99
42.	Cromatografía de gases 3 realizado por el cromatógrafo de gases HP 5890II/ChemStation localizado en el laboratorio de Análisis Instrumental Avanzado de la Universidad del Valle de Guatemala	100
43.	Cromatografía de gases 3, ácidos grasos presentes (1/2) realizado por el cromatógrafo de gases HP 5890II/ChemStation localizado en el laboratorio de Análisis Instrumental Avanzado de la Universidad del Valle de Guatemala	101
44.	Cromatografía de gases 3, ácidos grasos presentes (2/2) realizado por el cromatógrafo de gases HP 5890II/ChemStation localizado en el laboratorio de Análisis Instrumental Avanzado de la Universidad del Valle de Guatemala	102

RESUMEN

En Guatemala, actualmente, las empresas que preparan bebidas de café, como *Starbucks*, producen varios tipos de residuos, entre los cuales se destacan el poso de café, proveniente de las percoladoras y, por otro lado, el poso de café de las máquinas de espresso. Debido al gran volumen que este último representa, se decidió utilizarlo como materia prima para este trabajo de graduación ya que el fin era la obtención del aceite remanente en dichos desechos, para la fabricación de biodiésel.

Se establecieron dos procedimientos para hacer las evaluaciones. El primero consistió en una extracción a escala laboratorio en donde se obtuvo un porcentaje de extracción en peso para el aceite de café, a partir de café residual tipo espresso, de $15.58 \pm 0.01\%$ (m/m), los principales ácidos grasos identificados fueron; ácido linoleico, oleico y palmítico. Para las pruebas de producción de biodiesel se determinó que la reacción no pudo ser completada pudiéndose deber al tipo de aceite obtenido (proveniente de la extracción por método *Soxhlet* del café residual tipo espresso) y el pre tratamiento que este podría requerir para eliminar interferencias.

El segundo procedimiento consistió en extracciones mecánicas del aceite de café y con la metodología establecida se determinó que era necesaria la presencia del solvente hexano para lograr obtener una separación de fases. Sin embargo, no fue posible un posterior análisis del producto obtenido ni la posibilidad realizar pruebas para la producción de biodiésel bajo esta metodología. Debido a esto se recomienda realizar estas extracciones a mayores presiones e incluir café de percoladora en donde el tamaño de partícula podría contribuir a una mayor extracción de aceite.

I. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de graduación titulado “*Extracción de aceite de café proveniente de la extracción en poso de café resultante de fabricación de bebida caliente tipo espresso para la producción de biodiésel*” tenía como objetivo evaluar la factibilidad técnica de producir biodiésel a partir del café residual proveniente de las máquinas de espresso de una de las tiendas de *Starbucks*.

Para la extracción de aceite se siguieron dos procedimientos, siendo el primero una extracción a escala laboratorio utilizando el método *Soxhlet*, las variables que se controlaron para realizarlo fueron la temperatura bajo la cual se trabajó, la humedad del café y el tiempo de contacto entre el solvente (110.0 ± 0.5 mL) y la muestra (10.0000 ± 0.0001 g de café residual). El segundo procedimiento consistió en una extracción mecánica usando una prensa hidráulica. Las variables que se controlaron fueron la presión aplicada a la muestra, la humedad y cantidad de la misma. A partir de la masa del aceite obtenido se pretendía obtener un rendimiento con la metodología establecida. Después de esto, usando cromatografía de gases se identificó a los ácidos grasos que se encontraban en el aceite obtenido. Al finalizar la investigación se determinó que el rendimiento de la extracción mediante *Soxhlet* fue de $15.58 \pm 0.01\%$ y los principales ácidos grasos presentes eran el linoleico, oleico, linolénico, palmítico, esteárico y araquídico. Al realizar la extracción mecánica del poso de café espresso, se determinó que no era factible la obtención de aceite con el método utilizado debido a que no se logró una separación adecuada para posteriormente analizarla.

En lo que corresponde a la producción de biodiésel, al realizar la reacción del metóxido con el aceite se tenía como resultado una materia sólida de color café oscuro, la cual al analizar mediante cromatografía de gases se encontró la presencia de ácidos grasos, lo cual indica que la reacción de transesterificación no fue completada. Debido a lo anterior es necesario profundizar en un tratamiento previo al aceite y las cantidades de reactivos a utilizar para lograr la producción de biodiésel.

Con base en los resultados obtenidos se pudo determinar que el café residual proveniente de la máquina de espresso posee características que lo hacen una materia prima potencial para la producción de biodiésel, sin embargo, es necesario tomar en cuenta más propiedades del aceite y analizar otras posibles rutas para su producción.

II. OBJETIVOS

A. Objetivo general

Evaluar la factibilidad técnica para la producción de biodiésel a partir del aceite obtenido de la extracción en poso de café resultante de fabricación de bebida caliente.

B. Objetivos específicos

- Determinar los ácidos grasos que se encuentran en el aceite y el rendimiento de la extracción del poso de café tostado para espresso y comparar el valor obtenido con la literatura.
- Establecer un procedimiento para la extracción de aceite de café residual que permita la producción de biodiésel a escala laboratorio de acuerdo a las metodologías ya implementadas en la Planta Piloto instalada.
- Calcular el costo de la extracción de aceite por método *Soxhlet*, utilizando hexano y la producción de biodiésel, a escala laboratorio.
- Evaluar la factibilidad técnica para la obtención de aceite por métodos mecánicos y establecer un procedimiento para la misma, que permita la producción de biodiésel en planta piloto del laboratorio de Operaciones Unitarias.
- Calcular el costo de la extracción de aceite por método de prensado mecánico y comparar con el costo de la extracción *Soxhlet* utilizando hexano.

III. JUSTIFICACIÓN

Según la Asociación Nacional del Café (ANACAFE) en Guatemala, el consumo del café por persona es de 138 tazas al año, sin embargo, la demanda de café gourmet o bebidas a base de este grano se ha incrementado en los últimos cinco años de la mano de cadenas de “tiendas de bebidas de café” que expanden sus operaciones en todo el país, en donde la cantidad de estos ya superan el ciento.

La Organización Internacional del Café (ICO, por su siglas en inglés) estima que si la demanda mundial del grano sigue creciendo al mismo ritmo que el registrado durante los últimos diez años, ésta podría alcanzar hasta los 10.2 millones de toneladas métricas en el 2020. Estos datos también representan un aumento en los desechos, llamados “poso”, que se obtienen en las cafeterías. Estos residuos se desechan al basurero o se regalan como abono para las plantas. Se ha estado investigando que estos representan una fuente de materia prima para producción de biodiésel ya que el contenido de aceite que posee se encuentra entre 11 y 20% en masa de aceite dependiendo de la especie de café (Arábica o Robusta). En las pequeñas cafeterías se producen alrededor de 10 kg de residuos de café por día, lo cual representa de 1.1 a 2 kg de aceite de café y alrededor de 2 litros de biocombustible. El aceite de café puede obtenerse por dos métodos: Extracción por solventes y extracción mecánica

Como ya se mencionó, actualmente los residuos del poso del café que no son descartados, son utilizados como abono para plantas, mezclándolos con la tierra debido a que constituyen un producto orgánico, sin embargo, este genera metano en su descomposición y presenta problemas de recolección. Además, ya no se obtiene algún beneficio económico para la empresa. Por estas razones se ha tomado la iniciativa de tratar estos desechos sólidos como materia prima para la producción de biodiésel aprovechando el creciente consumo del café en el país.

En Brasil y Estados Unidos este tema ha sido de particular interés, y en las universidades de Nevada y Cincinnati se han realizado varias pruebas a escala laboratorio sobre la obtención de biodiésel a partir de residuos de café, en donde los resultados han sido exitosos, asegurando que este es más estable que los demás biocombustibles debido contenido de antioxidantes presentes en el café, y cumpliendo así mismo con las normas ASTM D751 sobre las propiedades necesarias de los biocombustibles. Actualmente, en Guatemala, la empresa *Starbucks Coffee Company* abrió su segunda tienda en el país y cuenta con una gran cantidad de desechos que

en su mayoría proviene de la preparación para la bebida de espresso, por lo cual se considera que las pruebas y posterior producción del biodiésel a partir de los residuos sólidos de café espresso resultaría de beneficio debido a la gran cantidad de materia prima que se posee y contribuyendo así a tratar los desechos sólidos obtenidos de la extracción de la bebida de café.

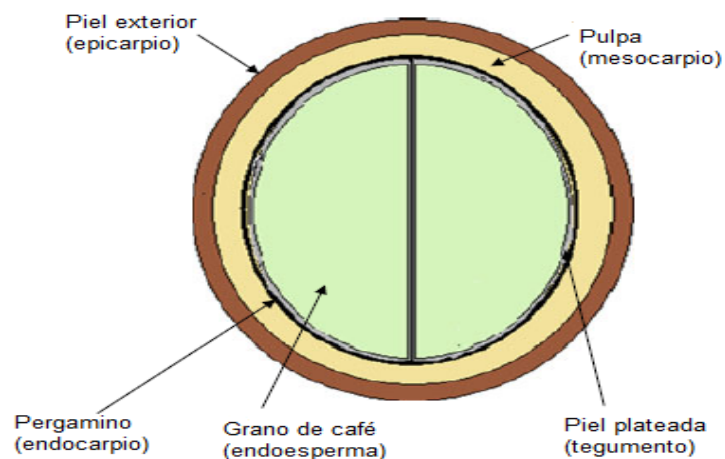
IV. MARCO TEÓRICO

A. Café y su composición química

La planta del café pertenece a la familia Rubiaceae, los granos de café vienen de la planta *Coffea arabica* L. de la cual se derivan más de 70 especies, sin embargo, únicamente dos especies son utilizadas e investigadas mundialmente: el *Coffea arabica* (Arábica), el cual provee el 75% de la producción mundial de café, el principal productor es Brasil, y el *Coffea canephora* (Robusta), el cual es considerado más ácido y resistente a las plagas, provee el 25% de la producción mundial de café y su principal productor es Vietnam. (Belitz *et al.* 2009) El *C. arabica* es un arbusto originalmente de Etiopia y desarrollado en altitudes de 600 a 2,000 m, mientras que las plantaciones de *C. canephora* se adaptan mejor a altitudes menores de 600 m. (Comité Français du Café, 1997) En Guatemala la especie que mayor se cultiva es la arábica. (Wagner, 2001)

El 68% del fruto del café está compuesto por pulpa, el 6% por pergamino y el 26% corresponden al grano de café. La pulpa es fácilmente removida mediante métodos mecánicos; sin embargo, para lograr separar el pergamino es necesario recurrir a la fermentación para facilitar la separación y posterior secado del grano. Primero, se tiene una producción de alcohol producto de la fermentación de la levadura; luego hay una acción bacteriana que da como resultado ácido láctico inactivo, el cual es el principal factor para aflojar el pergamino. Durante el proceso del café se evita la fermentación de ácido acético (cambia el color del grano) ya que inhibe la acción enzimática subsiguiente. (Ukers, 2009)

Figura 1. Corte transversal del fruto del café



Fuente: (Mussatto *et al.* 2011)

El café tostado tiene compuestos nitrogenados tales como la cafeína, trigonellina y pigmentos, ácidos clorogénicos y carboxílicos, lípidos y compuestos volátiles. Además, cuenta con carbohidratos los cuales constituyen casi la mitad del peso en seco del café. (Calle, 1977)

Los principales polisacáridos del café son el manano o galactomanano (polímero de manosa y galactosa), que constituye el 50% de los polisacáridos del grano, el arabinogalactano (polímero de galactosa y arabinosa) un 30%, la celulosa (polímero de la glucosa) un 15%, y las sustancias pécticas un 5%. Los granos de café maduros y sanos contienen más sacarosa que los inmaduros y defectuosos. La principal diferencia en la composición de carbohidratos entre especies de café, es el mayor contenido de sacarosa en Arábica (6% a 9%) y en Robusta (3% a 7%). (Puerta, 2011)

Los ácidos clorogénicos son un grupo importante dentro de los ácidos fenólicos simples, comprenden de varios ésteres del ácido quínico. El grano verde de café es la principal fuente de estos compuestos, representando entre el 7 y 10% de su materia seca; sin embargo, durante el tueste ocurren diferentes reacciones químicas que producen una reducción de estos. El ácido clorogénico más abundante en el café es el 5-O-cafeoilquínico, un éster del ácido cafeico y del ácido quínico. Dentro de la composición química del café, sólo la cafeína es termo estable y por lo tanto, no es destruida por el tostado excesivo del grano de café. (Gil, 2010)

Después de los clorogénicos, los ácidos más abundantes del café son los carboxílicos alifáticos como cítrico, acético y málico, seguidos del ácido fosfórico y otros 35 ácidos. Los ácidos presentan diferentes sabores e intensidades según la concentración. (Puerta, 2011)

Tabla 1. Grupo de compuesto de algunos aromas del café verde

Grupo de compuestos	Olor en el café verde
Piridinas	Verde desagradable, hierbas verdes, tabaco, astringente, nauseabundo, fuerte, a tierra
Furanos	Acetona, chocolate, dulce, quemado, tierra, aceite, mohoso, caramelo, herbal, madera
Aminas	Picante, desagradable
Pirazinas	Arvejas, pimienta
Aldehídos	Madera, pepino, grasa frita, rosa, miel jacinto
Cetonas	Fruta cocinada, rosas
Alcoholes	Floral, ligeramente cítrico
Ácidos	Queso, acre
Otros azufrados	Papa cocinada

Fuente: Puerta, 2011

Otro componente a tomar en cuenta es la trigonelina, la cual es una base del nitrógeno hallada en el café, es 100% soluble en agua, es probablemente el componente más significativo que contribuye a la amargura excesiva. A una temperatura de 130°C aproximadamente el 85% de la trigonelina se degrada. Cuando se somete el grano a esta temperatura se habla de un tostado moderadamente oscuro. Para tostados más ligeros habrá más trigonelina y por lo tanto, amargura, pero también menos caramelización del azúcar. (Sivetz, 1989)

En lo que corresponde a los componentes nitrogenados se encuentra a las proteínas, aminoácidos, trigonelina (representan 1% de la masa en base seca del café), alcaloides, entre otras. Es importante destacar que el alcaloide más abundante es la cafeína la cual corresponde de 1% a 2% de la masa seca, sin embargo, este rango puede variar dependiendo del tipo de café. (Sivetz, 1989)

El contenido total de proteínas es similar entre las especies de café y están conformadas por 50% de albúminas, que son solubles en agua, y 50% de globulinas insolubles. El contenido total de aminoácidos libres es mayor en granos maduros que en inmaduros y en la variedad Robusta que en la Arábica, aunque algunos aminoácidos están en menor cantidad en el grano de café maduro, que inmaduro. En granos de café almacenados a altas temperaturas se presenta mayor contenido de aminoácidos libres. (Puerta, 2011)

Tabla 2. Promedio de la composición química del grano de café según la especie, porcentaje en base seca

	Arábica (%)	Robusta (%)
Polisacáridos	50.8	56.40
Sacarosa	8.00	4.00
Azúcares reductores	0.10	0.40
Proteínas	9.80	9.50
Aminoácidos	0.50	0.80
Cafeína	1.20	2.20
Trigonelina	1.00	0.70
Lípidos	16.20	10.00
Ácidos alifáticos	1.10	1.20
Ácidos clorogénicos	6.90	10.40
Minerales	4.20	4.40
Compuestos aromáticos	trazas	Trazas

Fuente: Puerta 2011

La especie, la madurez, la fermentación, el secado, el almacenamiento, la tostación y el método de preparación de la bebida influyen en la composición química y en la calidad del sabor, acidez, cuerpo, amargo, dulzor y aromas de una taza de café. (Puerta, 2011)

El café Arábica contiene menos ácidos grasos libres que el café Robusta, y en los granos almacenados hay más ácidos grasos libres que en los granos frescos. Los triglicéridos contienen principalmente ácidos linoleico y palmítico, y conforman el 75% de los lípidos del café. La materia insaponificable constituye entre el 20% al 25% de los lípidos del café y en los diterpenos predomina el ácido palmítico. Los esteroides conforman el 2,2% de los lípidos del café de ambas especies, y contienen principalmente β -sitosterol, stigmasterol, campesterol, avenasterol. El colesterol constituye el 0,11% de la masa seca del grano de café almendra y el 0,044% en el café Robusta. (Puerta, 2011)

Para controlar la oxidación de los lípidos del café es necesario almacenar los granos en condiciones frescas y secas, sin luz directa y, en el caso del café tostado y molido, controlar la exposición al oxígeno. (Puerta, 2011)

En la tostación cambian los contenidos de los compuestos químicos y la concentración de éstos en los granos tostados con respecto al grano almendra: los polisacáridos disminuyen, la sacarosa se degrada completamente, los azúcares reductores aumentan, las proteínas disminuyen, la trigonelina disminuye, los ácidos aumentan, los ácidos clorogénicos disminuyen, las cenizas aumentan y las melanoidinas se crean. La mayor parte de los lípidos contenidos en el grano de café no se degradan durante la tostación, aunque algunos ácidos grasos se incrementan, los lípidos insaponificables disminuyen y algunos lípidos se oxidan para formar aldehídos y otros compuestos volátiles. (Clinton, 1985)

Los compuestos que extrae el agua a temperatura de ebullición se clasifican en componentes de sabor no volátiles (cafeína, trigonelina, ácido clorogénico, ácidos fenólicos, aminoácidos, hidratos de carbono y minerales) y componentes de aroma volátiles (ácidos orgánicos, aldehídos, cetonas, ésteres, aminas y unos compuestos de azufre llamados mercaptanos). Durante la preparación de la bebida de café, la fracción de lípidos es retenida en los sólidos tostados y molidos ya que no es soluble en agua. Los compuestos aromáticos son transferidos a la fase acuosa (bebida) durante el proceso de percolación/filtración y son realmente los que le proporcionan algunos aspectos de calidad a la misma. (Fukushima, 2009)

Tabla. 3. Compuestos volátiles identificados en los granos tostados de café

Compuesto químicos	Número de compuestos identificados	
	Verde	Robusta
Furanos	21	139
Pirazinas	23	95
Cetonas	25	85
Pirroles	3	79
Fenoles	22	74
Hidrocarburos	41	61
Ácidos anhrídricos	27	55
Aldehídos	34	37
Ésteres	34	33
Alcoholes	38	33
Tiofenos	0	29
Tiazoles	0	26
Oxazoles	0	25
Piridinas	10	23
Lactonas	7	8
Piranos	0	2
Otros compuestos de S	5	24
Otros compuestos de N	10	22

Fuente: Clarke y Vitzthum, 2001

El aroma característico del café se debe a la alta cantidad de compuestos aromáticos que presenta el café tostado, por efecto de transformaciones y degradaciones químicas las cuales se alcanzan con el proceso térmico. El aceite fijo contenido en el grano de café tostado tiene una composición química similar a la de muchos aceites vegetales comestibles tales como el de la semilla de algodón, soya, maíz, coco, oliva, entre otras. Este es líquido a temperatura ambiente y presenta una porción grande de insaponificables que varían del 7% al 12%. Al extraer el aceite, parte del contenido aromático es desprendido con él y varía según el método de extracción utilizado. (Xie, 2008)

Tabla No. 4. Compuestos químicos de algunos defectos del café

Impresión de olor o sabor del café	Compuesto químico	Causa
Tierra, madera húmeda	Geosmina (2-metil isoborneol)	Mohos <i>Penicillium expansum</i> y bacterias <i>Streptomyces coelicolor</i>
Riado, fenólico	2,4,6-tricloroanisol/fenol	Degradación de Procloraz, mohos, contaminación con sustancias químicas

Continuación Tabla No. 4. Compuestos químicos de algunos defectos del café

Impresión de olor o sabor del café	Compuesto químico	Causa
Sabor a papas y arvejas	2-isopropil-3-metoxipirazina	Infección bacteriana de granos dañados por insectos
Pescado podrido	4-heptenal	Granos inmaduros
Fermentado, frutal	etil-2-metilbutirato, etil-3-metilbutirato	Fermentación no controlada
Reposo, viejo, grasa	metanotiol, metilpropanal, hidroximetilfurfural, 2,3-pentanodiona	almacenamiento inadecuado
Nauseabundo	2-isobutylmetoxipirazina, ésteres, dicetonas, dimetilsulfido	Degradación en el beneficio

Fuente: Puerta, 2011

B. Café tipo espresso

El espresso es principalmente una forma de preparar el café, sin embargo, también se refiere a una forma de servir el café. Su preparación podría definirse como el café que se obtiene al pasar el agua hirviendo a presión por el grano molido en un tiempo entre 20 a 28 s. (Illy, 2005)

Se suele utilizar una mezcla de variedades de cafés Arábica y Robusta, para que confieran al perfil de taza deseado. El grano debe de ser tostado relativamente reciente y se debe guardar en un envase hermético. El agua, idealmente se utiliza filtrada. A lo largo de este proceso, que permite la extracción de todos los coloides, aceites naturales, azúcares y proteínas, se obtiene el café espresso. (Illy, 2005)

La cafetera de café espresso cuenta con un chasis el cual es la base de sujeción de los elementos principales. Este debe de ser resistente y funcional. La base suele ser de hierro tratado para evitar la corrosión. Es importante que no tenga demasiadas soldaduras ya que en estos puntos el material es más susceptible a dañarse. (Fuertes, 2005)

El sistema está formado por una caldera generadora de agua caliente-vapor, uno o varios grupos para la elaboración del café y equipo de control y seguridad. La caldera es un recipiente a presión que debe garantizar con seguridad la producción de vapor y el calentamiento constante para que tanto en bajas o elevadas extracciones de cafés y vapor, mantenga su

estabilidad térmica que permitirá la homogeneidad de cada taza. Toda la operativa de café está controlada por diferentes sistemas internos:(Fuertes, 2005)

- Sistema hidráulico: Bomba de agua, válvulas de expansión/retención, contadores volumétricos, inyectoras, válvula de vacío
- Sistema eléctrico: Motor, resistencia, pulsadores, interruptores, pilotos iluminados.
- Elementos de control: Manómetro de presión de caldera y presión de bomba, sondas de nivel de agua
- Elementos de seguridad: Válvula de seguridad homologada por el fabricante.

Las condiciones que se deben de controlar son la presión, la cual debe estar entre 8 y 9 bar, la presión interior de la caldera debe de estar entre 0.8 y 1 bar con una temperatura aproximada del agua de 120°C. Con esta agua no se hace el café pero esta se emplea generalmente para los tés e infusiones, genera el vapor y calor necesarios, calentando el agua para el café que pasa a través de un intercambiador. La temperatura de extracción del café espresso suele estar entre los 90/95°C y en 20 a 30 s se debe de obtener un café espresso de 25/35 mL.(Fuertes, 2005)

Se recomienda, hacer pasar el agua previamente por un sistema de purificación. Mientras se extrae el agua se debería de observar que la aguja del manómetro que indica la presión de red no vibre en exceso, pues esto indica que la bomba está funcionando mal. (Fuertes, 2005)

1. **Café seleccionado bajo los criterios *Starbucks*.** *Starbucks Coffee Company* es una organización mundial líder en la compra, tostado y venta en las “tiendas de café” (coffee houses). *Starbucks* implementó el Programa de Proveedor Preferido (PPP), basado en la preferencia para compra del café almendra a los proveedores que producen, benefician y comercializan el producto de manera responsable, desde los puntos de vista ambiental, social y económico. (Farfán, 2008)

EL PPP revisa y verifica la naturaleza de la cadena de suministros del café desde la fuente, es decir los caficultores, pasando por los procesos de recolección y beneficio hasta la comercialización. En esta fase final también se incluye la entrega de café almendra en las plantas tostadoras de Starbucks en Estados Unidos y en otras partes de mundo. Cada participante en la cadena de suministros tiene un papel importante en la sostenibilidad general del suministro de café y por tanto, es considerado en la matriz de evaluación. (Farfán, 2008)

Debido a que el potencial impacto ambiental y social, así como el beneficio, varían considerablemente en diferentes procesos a lo largo de la cadena, el programa ha sido diseñado, tanto para reconocer, como para adaptar un amplio rango de variabilidad a la

estructura de las entidades de la cadena de suministro, así como al desempeño socio-ambiental de cada una de las entidades. (Farfán, 2008)

Desde el punto de vista de la sostenibilidad, el programa se centra en cuatro conceptos clave: (Farfán, 2008)

- Calidad del producto
- Responsabilidad económica
- Responsabilidad social
- Liderazgo ambiental

Cada uno de estos cuatro conceptos es clave en las áreas funcionales del ciclo de vida del café, en su producción, beneficio y comercialización. (Farfán, 2008)

C. Aceite de café

Los aceites, por ser constituyentes esenciales de todas las plantas y animales, están ampliamente distribuidos en la naturaleza. Todas las especies de plantas y animales producen alguna clase de aceite, durante su ciclo vital. Sin embargo, las plantas y animales que producen aceite en cantidad suficiente y en forma tal, como para construir un artículo comercial, son relativamente pocas en número. (Clarke, 1985)

La mayor fuente de aceite está constituida actualmente por las semillas de las plantas anuales, tales como el lino, soya, algodón, cacahuate, etc. Algunas de estas plantas, en especial el ricino y las variedades oleaginosas del lino, se cultivan solamente por su aceite; otras, por ejemplo la soya y el cacahuate, producen semillas que no son solamente fuente de aceite, sino que también se usan ampliamente como alimentos. En el caso de algunas otras plantas oleaginosas, tales como el algodón y el maíz, el aceite es meramente un subproducto de una cosecha, que se obtiene con otra finalidad, como objeto primordial. (Clarke, 1985)

Generalmente el aceite de café puede obtenerse por dos métodos: extracción por solventes y extracción mecánica. El aceite de café obtenido por prensado mecánico se compone de una fracción de lípidos y una fracción volátil que retiene el olor típico del café tostado y molido, pero mantiene un olor a quemado a causa de la pirólisis que ocurre por las altas temperaturas. (Oliveira, 2007)

Los lípidos de los granos del café se encuentran presentes en el endoesperma, mientras que en las capas exteriores se encuentra la cera del café. El aceite de café se encuentra conformado por triglicéridos, además de una porción considerable de otros componentes lípidos los cuales le otorgan características especiales al aceite. (Clarke y Macrae, 1985)

Convencionalmente el contenido de aceite se determina mediante una extracción utilizando el método *Soxhlet* con un solvente apropiado, evaporando el solvente y pesando el residuo. El uso de solvente no polar, éter de petróleo, es generalmente aceptado para la determinación del aceite del café y su posterior análisis. Las proporciones típicas que conforman el aceite del café se encuentra en la siguiente tabla. (Clarke y Macrae, 1985)

Tabla 5. Composición promedio de lípidos en el aceite de café

Triglicéridos	75.2
Ésteres de ácidos grasos y alcoholes diterpeno	18.5
Alcoholes diterpenos	0.4
Ésteres de esteroides y ácidos grasos	3.2
Esteroides	2.2
Tocoferoles	0.04-0.06
Fosfátidos	0.1-0.5
Derivados de triptamina	0.6-1.0

Fuente: Clarke y Macrae, 1985

La composición y cantidad de los aceites se encuentra ligada directamente por el tostado y el proceso de extracción. (Clarke y Macrae, 1985)

Se ha encontrado que la extracción con algún ácido para el café por extraer no es adecuada si se desea obtener un estudio detallado sobre las composiciones químicas, ya que para eso es necesaria una extracción directa con solvente. Además, el rendimiento que se llega a obtener por la extracción con solvente dependerá del tamaño de partícula en la que se encuentre el café. Los resultados en ese estudio se muestran en la siguiente tabla. (Folstar *et al.* 1975)

Tabla 6. Rendimiento del contenido de aceite de café en relación a los diferentes tamices en base seca

Abertura de tamiz (mm)	Extracción directa de aceite con éter de petróleo (40-60°C) por 6 horas (%)	Extracción de aceite por el método oficial suizo 35A/08 (1973) (%)
0.15-0.42	15.51	15.54
0.42-0.60	13.1	15.66
0.60-0.85	9.36	14.06

Fuente: Folstar *et al.* 1975

Al momento de extraer los solventes, se removerá una pequeña cantidad de cafeína. Se ha demostrado que el porcentaje de materia insaponificable se encuentra influenciada por el rendimiento de aceite obtenido de la extracción. (Clarke y Macrae, 1985)

Las características químicas más importantes del aceite del café se encuentran descritas en promedio en la Tabla 7, todas estas fueron determinadas por los procedimientos usuales. Esta tabla describe los hallazgos recientes y los compara con los datos obtenidos más antiguamente. Se atribuyen los valores altos de número ácidos a que el aceite no fue analizado inmediatamente después de ser extraído del grano. Las extracciones fueron realizadas con éter de petróleo. (Schuette *et al.* 1934)

Tabla 7. Propiedades químicas del aceite del café

	Datos reportados por	
	Nuevos datos	otros autores
Gravedad específica 25/25°	0.9653	0.9288-0.9512
Índice de refracción, 25°	1.479	1.4678-1.4778
Número de yodo (Wijis)	100.72	79-97.8
Número de saponificación	195.53	149-195
Número de Reichert-Meissl	0.36	0-2
Número de Polenske	0.4	0.20-0.25
Número ácido	7.05	2.1-7.9
Ácidos saturados	33.6	
Ácidos insaturados	38.02	
Número de yodo de ácidos grasos totales	94.11	79.7-90.5

Continuación Tabla 7. Propiedades químicas del aceite del café		
	Nuevos datos	Datos reportados por otros autores
Número de yodo de los ácidos insaturados	153.61	
Materia insaponificable, %	12.63	6.87-13.5
Número de yodo de materia saponificable (Wijis)	153.8	

Fuente: Schuette *et al.* 1934

En Guatemala, se llevó a cabo un estudio con el aceite de café tipo Genuino Antigua en donde se analizaron las características físicas del aceite, los resultados obtenidos se presentan a continuación. (Ramírez, 2008)

Tabla 8. Propiedades físicas determinadas experimentalmente al aceite de café tipo Genuino Antigua.

Prueba	Resultado	
	Tueste oscuro	Tueste claro
Densidad (ρ), g/cm ³ , 23.2°C	0.923	0.927
Índice de refracción, 22.5°C	1.478	1.479
pH, 22°C	4.58	4.78
Solubilidad	Agua: Negativa Etanol: Negativa Benceno: Positiva Cloroformo: Positiva	
Humedad, %	0.375	0.376
Punto de fusión, °C	15	15
Viscosidad, μ , 26.2°C	1	1
Gravedad específica 25/25°	0.9653	0.9512

Fuente: Ramírez, 2008

Otras características químicas que se determinaron en este mismo estudio se encuentran en la siguiente tabla:

Tabla 9. Propiedades químicas determinadas experimentalmente al aceite de café tipo Genuino Antigua.

Prueba	Resultado
Carotenos, ppm por g de muestra	38.032
Valor de fósforo, ppm por g de muestra	334.700
Valor de fosfátidos, en ppm por g de muestra	10,039.800
Valor de p-anisidina, ppm por g de muestra	42.26
Ceras, ppm por g de muestra	502.660
Jabón, ppm por g de muestra	353.95
Gomas, % m/m	72.84
Metales pesados	No se encontraron
Pruebas de inflamabilidad	Positiva

Fuente: Ramírez, 2008

Se ha podido demostrar que la capacidad de extraer aceite de un tueste oscuro es más factible ya que promueve, conservan y preservan los aceites, mientras que para un tueste liviano el rendimiento de la extracción fue menor en el estudio realizado. (Ramírez, 2008)

Tabla 10. Propiedades de metil ester del aceite del café

Propiedad	Método utilizado	Unidades	Metil éster del aceite del café
Densidad (15°C)	ISO12185	g/cm ³	0.8943
Viscosidad cinemática (40°C)	ASTM D7042	mm ² /s	5.612
Poder calorífico bruto	EN116	°C	9
Punto nube	D2500	°C	13
Número ácido	EN14104	mg KOH/g	0.36
Contenido de sulfuro	ISO20846	mg/kg	4.5
Punto flash	EN12937	°C	>120
Contenido de agua	EN12937	mg/kg	255.6
Contenido de ésteres	EN14103	m/m%	81.28

Fuente: Folstar *et al.* 1975

1. **Ácidos grasos libres y totales.** Los ácidos grasos son los constituyentes primarios de la mayoría de los lípidos cuya estructura es una cadena alifática con un grupo funcional carboxilo. Los ácidos grasos se clasifican en fusión de la cadena carbonada, diferenciándose los ácidos grasos saturados, los mono insaturados con un doble enlace y los poli

insaturados con dos o más dobles enlaces. Los dobles enlaces suelen tener configuraciones “cis” y se encuentran conjugados dentro de la cadena y frecuentemente separados por un grupo metileno (CH₂). Los ácidos grasos lineales son los más abundantes tanto en el reino animal como vegetal. (Clarke, 1985)

Figura 2. Clasificación de ácidos grasos según el grado de saturación

Grupo	Estructura bioquímica	Ejemplo
Saturado		Ácido palmítico C16:0
Monoinsaturado		Ácido oleico C18:1
Poliinsaturado		Ácido linoleico C18:2

Fuente: Ramírez, 2008

Las grasas y los aceites constituyen una clase bien definida de sustancias neutras, solubles en éter y otros disolventes orgánicos pero no en agua, producidas en alguna cantidad por todas las plantas y todos los animales. Sin embargo, las grasas y los aceites comerciales se derivan de un número relativamente pequeño de especies del reino animal y vegetal, en los cuales aparecen en cantidad y en forma fácilmente asequible. Si se exceptúan pequeñas proporciones de impurezas, algunas de las cuales pueden separarse por un tratamiento de refinación. (Ramírez, 2008)

El término grasa se refiere a los productos que son sólidos a temperatura ambiente, y el término aceite a los líquidos en las mismas condiciones. (Ramírez, 2008)

La presencia de ácidos grasos libres ha sido descrita por varios autores, y en los reportes que se tienen, se indica que es posible una relación entre el valor ácido y la edad del café: los valores altos del valor ácido fueron encontrados en los granos de café almacenados bajo condiciones tropicales. Para el café sin moler o tostado la oxidación de los ácidos grasos es significativa, sin embargo, un aumento en el número de peróxidos puede ser esperado solo cuando el café ha sido almacenado por largo tiempo. (Wajda y Walczyk, 1978)

Tabla 11. Total de ácidos grasos presentes determinados experimentalmente al aceite de café tipo Genuino Antigua.

Ácidos grasos	Total (%)
Saturados	46
Monoinsaturados	7.63
Poliinsaturados	45.89
Sin identificar	0.48

Fuente: Ramírez, 2008

El total de ácidos grasos que componen el aceite del café ha sido expuesto a varias investigaciones. La siguiente tabla muestra los resultados obtenidos de la cromatografía de gases. La composición dada por los diferentes autores muestra similitudes, además, las pruebas realizadas por Carisano y Gariboldi (1964:15), Calzolari y Cerma (1963:40), y Chassevent et al (1974:18). Muestran que no existe diferencia significativa entre el café arábica y robusta en lo que respecta a la composición de ácidos grasos. Así mismo, no se observó un cambio en la composición de los ácidos grasos debido al tostado del café. (Clarke y Macrae, 1985)

Tabla 12. Cromatografía de gases en la composición de ácidos grasos (%) del aceite del café según diferentes pruebas realizadas

		(Carisano y			
		(Calzolari y	Gariboldi,	(Hartman <i>et al.</i>	(Chassevent <i>et</i>
		Cerman, 1963)	1964)	1968)	<i>al.</i> 1974)
Ácido mirístico	C14:0	rastros	rastros	0.06-0.14	0.2
Ácido palmítico	C16:0	35.20-38.60	30.7-35.3	35.44-41.35	35.2-36.7
Ácido palmitoléico	C16:1	rastros	trazas		
Ácido margárico	C17:0	-	trazas		
Ácido esteárico	C18:0	6.60-8.35	6.6-9.0	7.53-10.60	7.2-9.7
Ácido oléico	C18:1	7.55-10.90	7.6-10.1	8.07-9.58	9.5-11.9
Ácido linoléico	C18:2	38.40-43.00	43.5-45.9	36.64-43.08	41.2-42.6
Ácido linolénico	C18:3		1.1-1.7		1.3-2.7
Ácido araquidónico	C20:0	4.05-4.75	2.7-3.3		0.3-1.5
Ácido gadoléico	C20:1	-			
Ácido behénico	C22:0	0.65-2.60	0.3-0.5	4.28-6.43	

Fuente: Clarke y Macrae, 1985

En un estudio realizado en el 2008 en la Universidad de Nevada se obtuvo el siguiente perfil de los ácidos grasos identificados y cuantificados por cromatografía de gases. (Kondamudi *et al.* 2008)

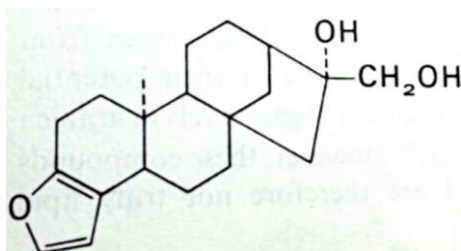
Tabla 13. Composición de los ácidos grasos presentes en el aceite de café, determinados y cuantificados por cromatografía de gases

Ácido graso	Estructura química	Peso %
Palmítico	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{14}\text{COOH}$	33.99
Estearico	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}\text{COOH}$	10.91
Oleico	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	7.16
Linoleico	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_3(\text{CH}_2\text{CH}=\text{CH})_2(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	23.27
Araquidónico	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{18}\text{COOH}$	4.04

Fuente: Schuette *et al.* 1934

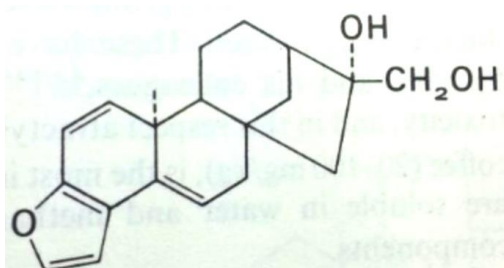
2. **Diterpeno.** Los componentes más prominentes en la materia insaponificable del aceite del café es el alcohol diterpeno cafestol (Figura 2) y, en una concentración más baja, kahweol (Figura 3). Las estructuras de estos compuestos han sido dilucidados por Djerassi *et al.* (1958:80) y Haworth *et al.* (1957:1492).

Figura 3. Estructura alcohol diterpeno cafestol



Fuente: Clarke y Macrae, 1985

Figura 4. Estructura del kahweol

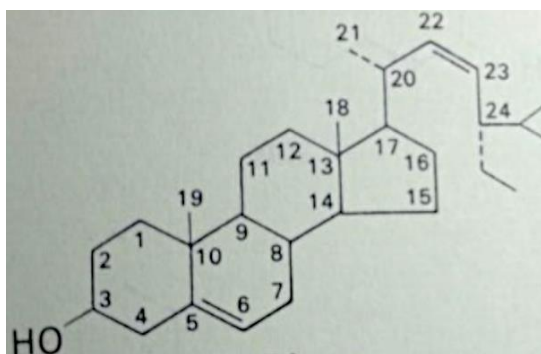


Fuente: Clarke y Macrae, 1985

En el aceite del café, el cafestol y kahweol aparecen en su mayoría como monoésteres con ácidos grasos. Siendo esterificado únicamente el primero grupo hidróxilo en C-16. El kahweol es sensible a los ácidos, calor y luz; es inestable en su forma pura. Además, se encontró que éste, en combinación con ácido acético, reacciona formando un color azul luego de su calentamiento, esta reacción fue negativa para el café robusta, por lo cual es un método utilizado para diferenciarlo del café arábico. (Clarke y Macrae, 1985)

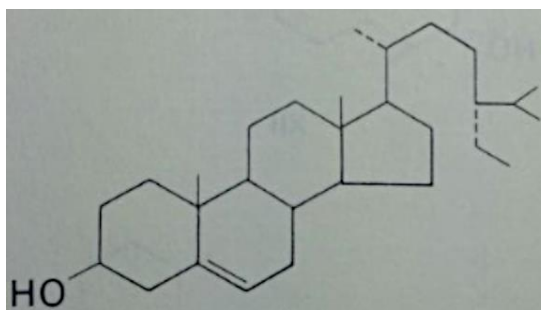
3. **Esteroles.** Los esteroides se han encontrado tanto en forma libre como esterificada. El 4-dimetil esterol comprende el 92.7% de la fracción esterólica, que consiste principalmente de estigmasterol (Figura 5), sitosterol (Figura 6), campesterol (Figura 7), además de rastros de estigmastanol (Figura 8), campestanol (Figura 9), colesterol (Figura 10) y colestanol (Figura 11). (Clarke y Macrae, 1985)

Figura 5. Estructura de estigmasterol



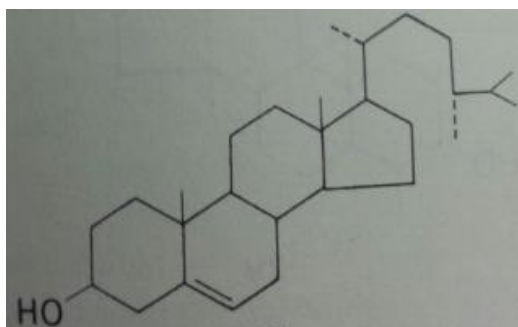
Fuente: Clarke y Macrae, 1985

Figura 6. Estructura de sitosterol



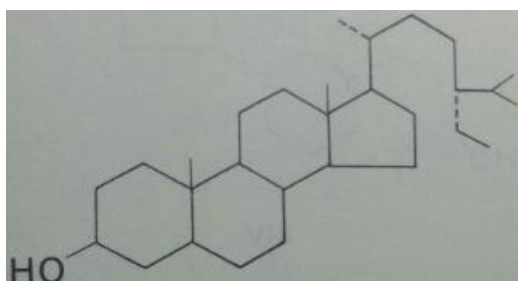
Fuente: Clarke y Macrae, 1985

Figura 7. Estructura de campesterol



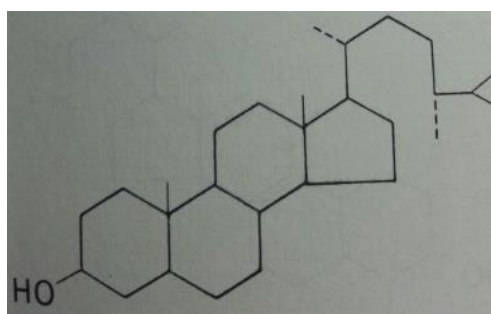
Fuente: Clarke y Macrae, 1985

Figura 8. Estructura de estigmastanol



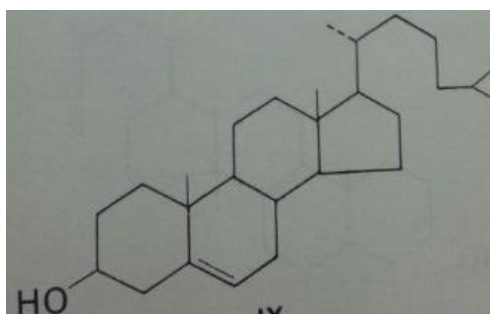
Fuente: Clarke y Macrae, 1985

Figura 1. Estructura de campestanol



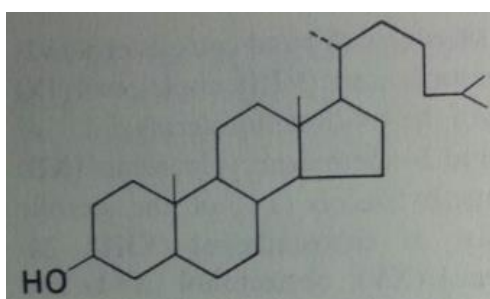
Fuente: Clarke y Macrae, 1985

Figura 2. Estructura de colesterol



Fuente: Clarke y Macrae, 1985

Figura 3. Estructura de colestanol



Fuente: Clarke y Macrae, 1985

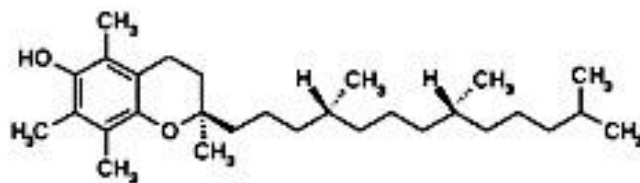
4. **Tocoferoles.** Folstar (1977:25), describe la presencia de α -tocoferol y $(\beta+\gamma)$ -tocoferol en el aceite del café, los ejemplos de contenidos de tocoferoles son dados en la siguiente tabla:

Tabla 14. Porcentaje de aceite y concentración de tocoferoles en aceite de granos verdes con diferentes orígenes.

Muestra	Aceite (%)	α -tocoferol	$(\beta+\gamma)$ -tocoferol
Arábica colombiano, fresco, beneficio húmedo	15.98	140	465
Arábica colombiano, 5 años, beneficio húmedo	15.73	132	355
Santos, 3 años, beneficio seco	15.47	89	334
Robusta, Costa de Marfil, 1-2 años, beneficio seco	11.23	191	252

Fuente: Folstar *et al.* 1977

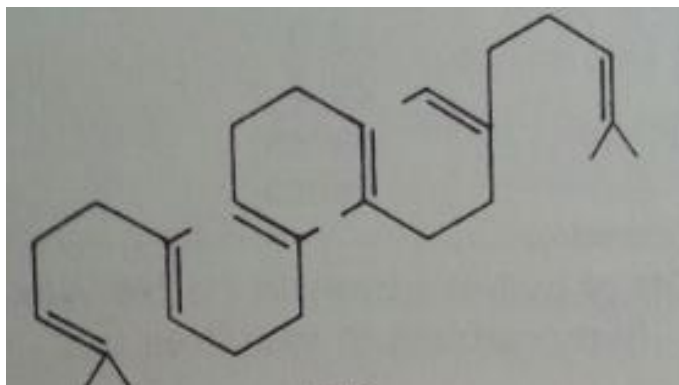
Figura 4. Fórmula estructural de tocoferoles



Fuente: Rigotti, 2007

5. Otros compuestos. Kaufmann y Sen Gupta (1964:66) identificaron el escualeno en la parte insaponificable del aceite del café y confirmaron la presencia del n-nonacosano. (Clarke y Macrae, 1985)

Figura 13. Estructura de escualeno



Fuente: Clarke y Macrae, 1985

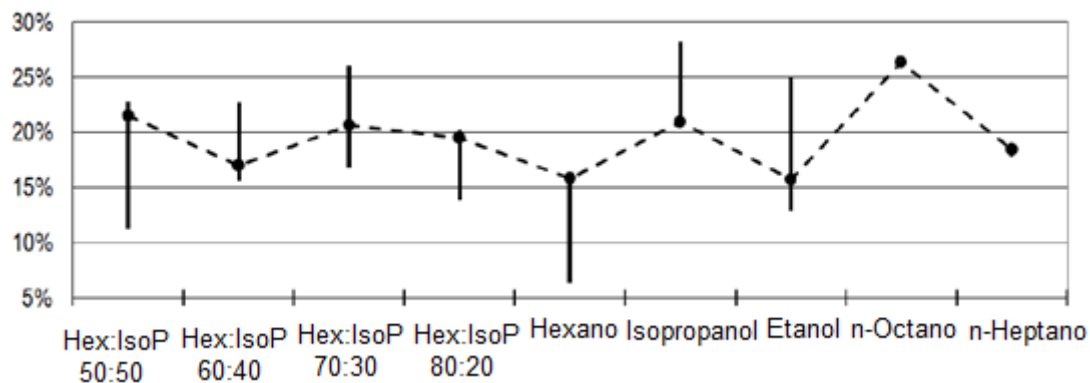
D. Extracción de aceite de café

Al extraerse el aceite, parte significativa del contenido aromático del café tostado, que varía según el método de extracción usado, sale con él. Existen algunos métodos de extracción con los cuales se obtiene un aceite fijo con una alta carga volátil. (Clarke y Macrae, 1985)

Normalmente, la extracción de los compuestos volátiles del café es realizada con algún solvente, la polaridad de este se debe de ajustar para extraer la mayor fracción de aroma posible. Se utiliza el *Soxhlet* para llevar a cabo la extracción como se indicó anteriormente, pero es

importante mencionar que actualmente se ha venido utilizando como solventes el hexano, isopropanol, heptano, octano y etanol. Así mismo se han realizado mezclas de estos para mejorar la eficiencia de la extracción, los resultados obtenidos se encuentran en la siguiente figura: (Caetano *et al.* 2012)

Figura 14. Rendimiento de la extracción de aceite de café usando diferentes solventes



Fuente: Caetano *et al.* 2012

Sin embargo, actualmente el solvente más reconocido para llevar a cabo una extracción es el éter de petróleo. La extracción en el Soxhlet debe tener un tiempo de contacto entre 2.5 a 9.5 horas, dependiendo del solvente utilizado. También se ha encontrado que en 5 ciclos de evaporación-condensación del Soxhlet se suelen obtener rendimientos que se encuentran dentro de los porcentajes encontrados. Luego es recomendada una destilación al vacío a una temperatura constante para recuperar el aceite extraído. (Caetano *et al.* 2012)

Tabla 15. Porcentaje en masa del aceite de café obtenido a partir de tres diferentes métodos

	Método oficial suizo (1973) (% m/m)	Método estándar dado por la Sociedad Americana de Químicos de Aceite (AOCS)(1965)(% m/m)	Asociación Alemana de las Ciencias de los Lípidos (DGF)(1952)(% m/m)
Aceite de café	15.54	15.1	16.4

Fuente: Plant, 2006

Otra manera de realizar la extracción es mecánicamente. En este caso, el aceite del café es obtenido mediante prensado y generalmente contiene una buena proporción de constituyentes aromáticos de media y pequeña volatilidad, a pesar de esto, los extractos poseen un intenso olor a “quemado” debido a pirólisis que ocurre durante el proceso causado por la alta presión y temperatura utilizada. (Caetano et al. 2012)

En la extrusión de los granos de café tostado se obtienen dos productos: el aceite fijo de café, con una elevada carga volátil, y la torta, producto mayoritario en el proceso. El café sólido que queda después de la extracción puede ser utilizado como compost en una base seca, las características que este posee fueron encontradas por medio de métodos estándar: (Clarke y Macrae, 1985)

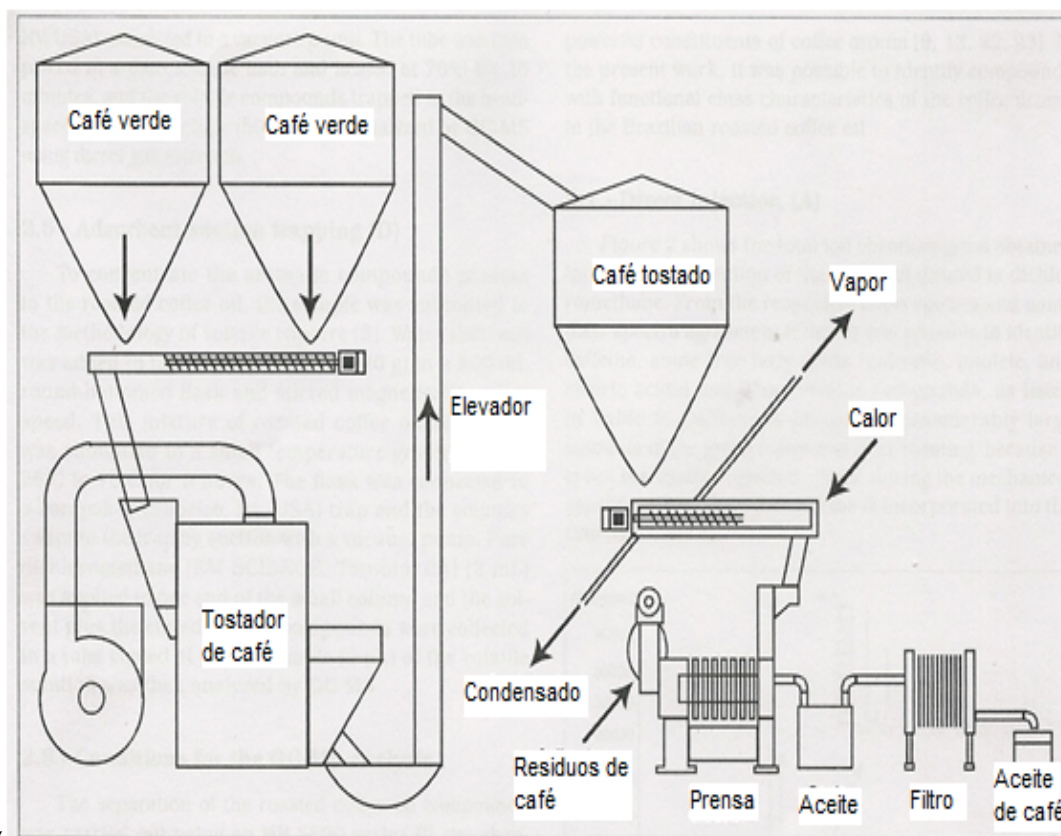
Tabla 1. Propiedades de la torta de café

Propiedades	
C m (%)	52.026
H m (%)	6.307
N m (%)	0.492
Ceniza m (%)	4.200

Fuente: Clarke y Macrae, 1985

En Brasil se ha venido procesando el café de segunda como materia prima para la producción de aceite de café para producción de combustibles. Su proceso consiste en una extracción mecánica en prensa utilizando café tostado antes de la extracción del café soluble. Luego, el aceite extraído es filtrado mediante un filtro-prensa y es utilizado como aditivo y saborizantes por varias empresas. (Oliveira, 2007)

Figura 15. Extracción mecánica realizada en Brasil



Fuente: Oliveira, 2007

Extracciones con dióxido de carbono supercrítico, gaseoso y líquido son otras técnicas que pueden ser utilizadas para una extracción aromática del café. (Caetano *et al.* 2012)

Para medir el rendimiento del proceso se utiliza la siguiente fórmula: (López, 2007)

$$\text{Rendimiento} = 100 \times \left(\frac{\text{aceite obtenido (g)}}{\text{café tostado utilizado (g)}} \right)$$

Ecuación 1

E. Desechos de café

El café es el segundo producto más comercializado en el mundial después del petróleo, por lo tanto, la industria del café es responsable por la generación de una gran cantidad de residuos. El pergamino del café (Figura 1) y el poso del café (resultados de la fabricación de la

bebida) son los dos principales residuos dentro de las industrias. El pergamino del café es un tegumento de los granos de café obtenido como subproducto del proceso de tostado. Es un residuo con una alta concentración de fibra dietética soluble y una alta capacidad antioxidante, esto último debido a la concentración de compuestos fenólicos en el grano del café y a los compuestos como la melanoidina formados durante el tostado del café. (Borrelli *et al.* 2004)

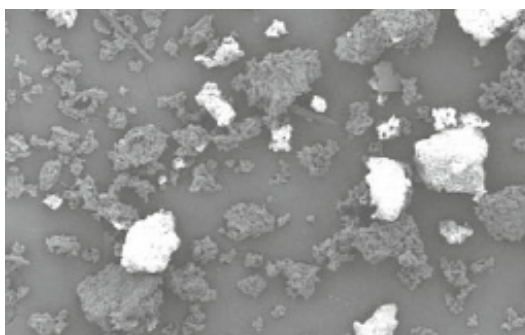
Los residuos del poso del café poseen un tamaño de partícula fino, alta humedad (en rango de 80% a 85%), carga orgánica y acidez. Casi el 50% de la producción mundial del café proviene de la preparación del café soluble. (Ramalakshmi *et al.* 2009) Por lo tanto, se obtiene una gran cantidad de este residuo, con una generación anual de 6 millones de t en donde 1 t de café verde genera 650 kg de poso de café, y cerca de 2 kg de poso de café húmedo se obtiene de 1 kg de café soluble producido. (Pflugger, 1975)

Figura 16. Apariencia del poso del café



Fuente: Borrelli *et al.* 2004

Figura 17. Microscopia electrónica de barrido al poso de café con magnificación de 50 veces



Fuente: Pflugger, 1975

Tabla 17. Composición química del poso del café

Componentes	(g/100g)
Celulosa (glucosa)	8.6
Hemicelulosa	36.7
xilosa	0.0
Arabinosa	1.7
Galactosa	13.8
Manosa	21.2
Proteína	13.6
Grasa	-
Cenizas	1.6

Fuente: Leifa *et al.* 2001

Actualmente varios estudios se han centrado específicamente en el poso del café y sus posibles usos como materia prima para posteriores procesos. En algunos casos, este residuo es utilizado como combustible en calderas en las mismas industrias debido a su alto poder calorífico de 5,000 kcal/kg, el cual es parecido a los valores de los residuos que se utilizan en algunas agro industrias. Sin embargo, este posee la limitación que al utilizarlo se generan partículas que pueden afectar la calidad del aire cerca de la industria correspondiente. (Silva *et al.* 1998)

También se tiene la posibilidad de utilizar este residuo como alimento para ganado, sin embargo, se ha verificado recientemente que el alto contenido de lignina (~25%) en este material puede resultar como un factor limitante para esta aplicación. (Cruz, 1983)

Estudios han demostrado que en el poso del café se produce *Flammulina velutipes*, por lo que es posible utilizar este residuo como sustrato, sin ningún suplemento nutricional, para cultivar hongos comestibles debido a que las condiciones del café residual favorecen el crecimiento de

esta cepa de hongo debido a su alto contenido de proteínas y humedad, los cuales son factores que afectan el desarrollo de los microorganismos. (Leifa *et al.* 2001)

Por otro lado, un tratamiento biológico con cepas de hongos al poso del café del género *Penicillium*, *Neurospora*, y *Mucor* posee la característica de liberar compuestos fenólicos disminuyendo la toxicidad del café residual y haciendo que este haga menos daños cuando es desechado al ambiente. (Machado, 2009)

Machado (2009) utilizó el poso del café como materia prima para la producción de etanol. Este fue sometido a una hidrólisis ácida y lo hidrolizado fue utilizado como medio de fermentación por la levadura *Saccharomyces cerevisiae*, alcanzando una eficiencia de producción de etanol del 50.1%. Más adelante, se utilizó este mismo para producción de bebidas destiladas. El producto final presentó características (sabor y presencia de compuestos volátiles) y propiedades organolépticas aceptables. (Mussatto *et al.* 2011)

Por último, se tiene que el poso del café también ha demostrado potencial como adsorbente para la eliminación de colorantes catiónicos en los tratamientos de agua residual, siendo esta una solución económicamente viable (Franca *et al.* 2009).

F. Biodiésel

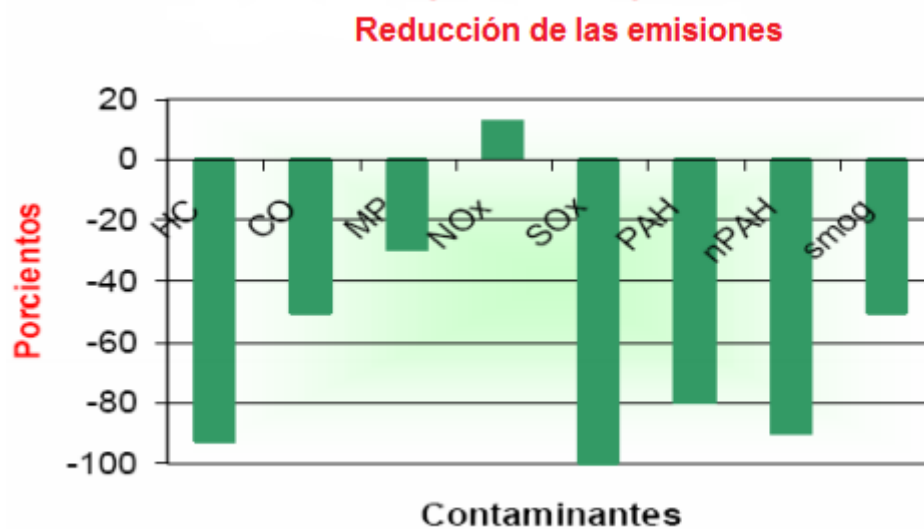
Biodiésel es un nombre aplicado a combustibles manufacturados por esterificación de aceites renovables, grasas y ácidos grasos. El biodiésel se puede emplear como un combustible para motores diésel sin modificar. (Graboski y McCormick, 1998)

El término bio- hace referencia a su naturaleza renovable y biológica en contraste con el combustible diésel tradicional derivado del petróleo; por su parte, diésel alude a su uso en motores de este tipo. El biodiésel sustituye como combustible limpio y renovable a los derivados del petróleo, concretamente al diésel y lo hace con ventaja ecológica ya que reduce las emisiones de gases que provocan el efecto invernadero. Así, por ejemplo, el uso de una tonelada de biodiésel, evita la producción de 2.5 t de dióxido de carbono (CO₂) y sobre todo elimina, si se usa el biodiésel sólo en los motores, las emisiones de azufre (SO₂) del diésel. Se emplea puro

(B100% biodiésel) o mezclado con diésel petróleo en proporciones de 5% (B5) a 20% (B20). (Uribe, 2010)

El uso de biodiésel reduce las emisiones de contaminantes hacia el medio ambiente, el único contaminante que aumenta al utilizarse es el óxido nitroso (NOx), pero este puede ser reducido a cantidades irrelevantes con un pequeño ajuste en los tiempos de inyección del motor. (López, 2006)

Figura 1. Reducción de emisiones utilizando biodiésel 100% vs. Diésel fósil 100%



Fuente: López, 2006

Son numerosos los países que implementan el uso de biodiésel como fuente energética; principalmente el producido a partir de aceites vegetales. Tradicionalmente el aceite de colza y de girasol es usado como materia prima en países Europeos. Mientras que en EE.UU. los productores prefieren el biodiésel de aceite de soya. En Brasil, no sólo los aceites de palma, coco y soya; también de girasol y aceites de ricino se utilizan en la producción de biodiésel. (Uribe, 2010)

Las características del biodiésel son las siguientes:(Uribe, 2010)

- Combustible limpio
- Es biodegradable

- No tóxico
- Alto índice de lubricidad
- Libre de azufre y aromáticos

El biodiésel es un combustible oxigenado, por eso tiene una combustión completa en comparación al diésel derivado del petróleo y produce menos gases contaminantes. Tiene un punto de inflamación relativamente alto (150 °C) que le hace menos volátil que el diésel del petróleo y es más seguro de transportar. (Uribe, 2010)

Tabla 18. Comparación de las propiedades de biodiésel y diésel

Propiedades	Biodiésel	Diésel
Metil éster	95.5>98%	-
Carbono (% masa)	77	86.5
Azufre (% masa)	0.0024	0.05 máx
Agua (ppm)	0.05% máx.	161
Oxígeno (% masa)	12	13
Hidrógeno (% masa)	12	13
Número de cetano	48-55	48-55
PCI (kJ/kg)	37700	41860
Viscosidad cinemática (40°C)	1.9-6.0	1.3-4.1
Punto de inflamación (°C)	100-170	60-80
Punto de ebullición (°C)	182-338	188-343
Densidad relativa (60°C)	0.88	0.85
Relación aire/combustible	13.8	15

Fuente: (Uribe, 2010)

Actualmente se ha comprobado que el biodiésel puede reemplazar al diésel sin causar efectos dañinos a un motor diésel sin modificar y simultáneamente reducir las emisiones dañinas al ambiente. Además, el biodiésel es completamente miscible con el diésel del petróleo y puede ser utilizado como una mezcla. Sin embargo la desventaja del biodiésel es que aún no es económicamente factible cuando se compara con el diésel del petróleo debido a que los granos de los cuales se genera (soya, semilla de girasol, etc.) representan un 70% del total de los costos de producción. (Loterio *et al.*, 2005).

Entre otras ventajas y desventajas que posee el biodiésel se encuentra (López, 2006):

Tabla 19. Ventajas y desventajas del biodiésel

Ventajas	Desventajas
Mayor punto de ignición (reduce peligro de explosiones por emanación de gases durante almacenamiento)	Generación de un sub producto (glicerina)
Mayor lubricidad (favorece el funcionamiento del circuito de alimentación)	Problemas de fluidez a bajas temperaturas (menores a 0°C)
Transporte y almacenamiento más seguro	Dependencia del costo de las materias primas
Mínima diferencia en torque, potencia y consumo de los motores con respecto al diésel fósil	Escasa estabilidad oxidativa

Uno de los mayores problemas con el aceite vegetal es que este es más viscoso al ser comparado con el biodiésel lo cual se debe a que posee glicerina en su estructura química. Cada molécula de aceite vegetal se encuentra compuesta por tres cadenas de ácidos grasos unidas a una molécula de glicerina, es por esto que estos aceites son conocidos como triglicéridos ó tres

cadena de ácidos grasos y glicerina. El porcentaje de los ácidos grasos variará dependiendo del tipo de planta de la que provenga el aceite, aproximadamente un veinte por ciento o menos, conforman la molécula de glicerina de un aceite vegetal. La transesterificación implica el rompimiento de cada triglicérido en tres ácidos grasos y una molécula separada de glicerina. Durante este proceso, alcohol es agregado y cada cadena de ácido graso se une a una de las nuevas moléculas de alcohol creando así tres esteres mono alquílicos. Este proceso permite que el éster sea más adecuado para ser utilizado como combustible diésel. Una vez separada la glicerina, la cadena de éster alquílicos es conocida como biodiésel (Pahl, 2008).

El alcohol utilizado para este procedimiento suele ser etanol o metanol. El metanol suele ser el preferido debido a que es más barato y tiende a producir una reacción más predecible, sin embargo, este disuelve la goma y debe de ser manejado con mucha precaución. Por otro lado, el etanol, es más caro y puede llegar a producir una reacción no muy estable, pero, este es menos tóxico. Si el biodiésel es producido de metanol, se le refiere como metil éster, y si es producido por etanol es conocido como etil esteres. El término general para referirse a un éster de aceite vegetal producido por alcohol sería alquil éster (Pahl, 2008).

Como catalizador se suele utilizar hidróxido de sodio (NaOH), sin embargo si este no se encuentra disponible se puede utilizar hidróxido de potasio (KOH), sin embargo este se aplicará en menores cantidades. Estos catalizadores son conocidos como “catalizadores homogéneos” debido a que se disuelven en la solución de la reacción (Pahl, 2008).

Una de las principales ventajas del biodiésel es que el proceso de transesterificación puede ser trasladado fácilmente a mayores escalas en donde la mayor diferencia sería que a mayor escala el proceso sería continuo, mientras que a menores sería por lotes (Pahl, 2008).

Tabla 20. Propiedades físicas de los ésteres obtenidos por la transesterificación de aceite vegetal

Nombre	Densidad relativa	Punto fusión (K)	Punto ebullición (K)	Solubilidad (<10%)
Metil linolenato	0.872	324.1	489.5	-
Metil linoleato	0.869	315.7	-	-

Continuación Tabla 20. Propiedades físicas de los ésteres obtenidos por la transesterificación de aceite vegetal

Nombre	Densidad relativa	Punto fusión (K)	Punto ebullición (K)	Solubilidad (<10%)
Metil misístico	0.875	291	-	-
Metil palmitato	0.825	303.8	469.2	Benceno, etanol
Metil estearato	0.85	311.2	488.2	Etanol, cloroformo
Metil oleato	0.875	253.4	463.2	Etanol, cloroformo
Metanol	0.792	176.2	337.9	Agua, éter, etanol
Etanol	0.789	161.2	351.6	Agua, éter
Glicerol	1.26	255.3	363.2	Agua, éter

Fuente: Uribe, 2010

Los tres métodos básicos para la producción de éster de aceites /grasas son: (Graboski y McCormick, 1998)

- 1) Transesterificación catalizada por base
- 2) Esterificación catalizada por ácido
- 3) Catálisis enzimática

La transesterificación catalizada por base consiste en agregar una mezcla de metanol e hidróxido de sodio para crear el metóxido de sodio el cual es agregado al aceite una vez este es sometido a calor por un determinado tiempo hasta alcanzar un rango de temperatura entre 55°C y 60°C, una vez realizada la mezcla, se procede a agitar constantemente y a gran velocidad. Durante esta etapa las moléculas de aceite se rompen y los metil ésteres (biodiésel) suben a la superficie mientras que la glicerina y el catalizador van al fondo (este proceso de separación puede ser acelerado con la utilización de centrifugas). Después de aproximadamente 8 horas la separación del biodiésel con el resto es clara y se procede a lavar con agua para remover algún trazo de alcohol, catalizador y glicerina. En esta parte, el agua es mezclada con el biodiésel y esto puede repetirse varias veces, sin embargo, este último paso es generalmente utilizado

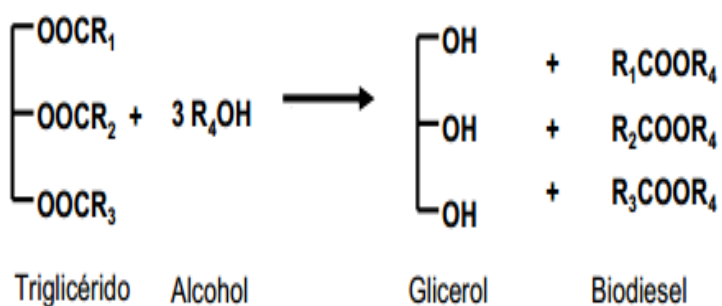
mayormente por productores comerciales para cumplir con los estándares de la industria (Pahl, 2008).

Para la esterificación por ácido se cataliza por ácidos Brönsted, preferentemente por ácido sulfónico o sulfúrico. Estos catalizadores dan una muy alta producción de ésteres alquílicos, pero las reacciones son lentas en comparación con catalizadores alcalinos. La transesterificación catalizada por un ácido es más conveniente para ácidos o grasas que tienen altas cantidades de ácidos grasos libres y humedad. (Uribe, 2010)

La transesterificación enzimática de aceites refinados o de desecho, es insensible al contenido de agua y ácidos grasos libres, requiere menos etapas, consume menos energía y genera menos agua de desecho. Particularmente, en este debe ser notado que el glicero de subproducto, puede ser fácilmente removido sin procesos complejos, y que también los ácidos grasos libres contenidos en el residuo del aceite y las grasas pueden convertirse completamente a metil ésteres. (Uribe, 2010)

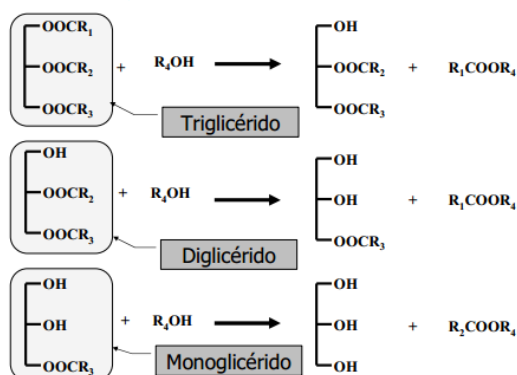
Cada reacción ha asociado parámetros de funcionamiento óptimos (T & P) y la conversión, aunque gran parte de la disposición literatura enfatiza la ruta catalizada por base porque se afirma ser la más económica. (Graboski y McCormick, 1998)

Figura 19. Reacción global



Fuente: Pahl, 2008

Figura 20. Etapas



Fuente: (Pahl, 2008)

Los triglicéridos deben tener menos de 1% de ácidos grasos libres y todas las demás sustancias a reaccionar deben ser los más anhídridas posible. Si la acidez es mayor a 1% entonces se necesita más catalizados (NaOH) para la reacción debido a que tiene que neutralizar los ácidos grasos libres. El contenido de humedad debe ser menor a 0.05% ya que puede provocar saponificación lo cual aumenta la viscosidad y puede formar geles haciendo la separación del glicerol más difícil. (Wright, 1994)

G. Investigación sobre biodiésel a partir de desechos de café

Los estudios han demostrado que los desperdicios del poso de café contienen entre 11% y 20% de aceite en peso con un promedio de producción de 15% de aceite. Según estudio realizados en la Universidad de Nevada en Reno, el biodiésel proveniente de esta materia prima presento una gran estabilidad oxidativa, sin embargo, esto se ve afectado por los altos niveles de azufre. Para la experimentación utilizaron una extracción con hexano a escala laboratorio en donde produjeron biodiésel el cual podía ser almacenado por más de un mes sin ningún cambio físico notable. A pesar que algunos de los antioxidantes son extraídos en el agua que se utiliza para la preparación de la bebida se ha encontrado que un 10 % se mantiene en los desperdicios del poso. (Alves, 2010)

Debido a que las plantaciones de café crecen en suelos volcánicos, los cuales son altos en contenido de sulfuro, el café puro posee de 50 ppm a 300ppm, dependiendo de la región en donde haya sido cosechado, variedad, tipo de tueste, etc. El sulfuro en parte, provee parte del aroma y del sabor al café que caracteriza a cada región, y la cantidad de sulfuro suele ser no aceptable en el biodiésel en los mercados en donde las emisiones son reguladas, sin embargo, en Brasil, los estándares no son tan restringidos como en los Estados Unidos o Europa. Actualmente se siguen investigando rutas para la disminución del sulfuro de 70 ppm a 3 ppm. EL aceite de café posee ácidos grasos libres que van de 4% a 6% y contiene 60% de grasas insaturadas. El biodiésel resultante cumple con los estándares ASTM y tiene un punto nube de 11°C. (Kondamudi, 2008)

Actualmente, se han realizado procedimientos para analizar las propiedades de los metil ésteres y sus parámetros de acuerdo al estándar Europeo EN 14212. El estándar para biodiésel estipula que el combustible debe de tener una densidad entre 860 y 900 g/m³. Los resultados obtenidos muestran que los metil ester producidos se encuentran dentro de los límites de la especificación. Para que el biodiésel sea utilizado en motores diésel la viscosidad debe estar en un rango entre 3.5 y 5.0 mm²/s. La viscosidad del aceite obtenido de café residual, según estudios, tiene un valor de 5.61 mm²/s. Se estima que este valor puede estar arriba de los límites debido a que la reacción no se completó adecuadamente o a la purificación ineficiente del proceso dejando glicerina en la fase éster. (Kondamudi, 2008)

El combustible que contiene agua puede causar corrosión al motor o una reversión en los metil ésteres, lo cual puede conducir a la obstrucción de los filtros. Por lo tanto, EN 14214 impuso un contenido máximo de 500 mg/g de agua en el biodiésel. En este estudio, los metil ésteres producidos fueron sometidos a secado rutinariamente con sulfuro de sodio anhídrido. El contenido de agua en el aceite del café fue de 255 mg/kg, lo cual se encuentra debajo de los límites de la especificación. La combustión del combustible que contiene sulfuro produce emisiones de óxidos de azufre y puede conducir a la intoxicación de los dispositivos de post tratamiento. Sin embargo, los resultados obtenidos concuerdan con los límites para el contenido de sulfuro. (Kondamudi, 2008)

Uno de los principales retos para los productores ha sido asegurar que el biodiésel producido se mantenga estable y utilizable por un periodo suficiente de tiempo después de haber sido mezclado. El problema es que el biodiésel es más próximo a oxidarse que el diésel tradicional, lo cual puede causar problemas al motor como por ejemplo, bloquear los filtros de

combustible. Existen antioxidantes que pueden ayudar a contrarrestar este efecto, pero el desafío es encontrar el que mejor se combine y cumpla con las consideraciones a medida que la mezcla del biodiésel varíe. El resultado obtenido mostró que se obtuvieron los ácidos grasos en un promedio de 7.9 horas y superó las especificaciones. Se estima que el biodiésel proveniente del café procesado posee una mejor estabilidad que el biodiésel de otra fuente debido a su alto contenido antioxidante. (Kondamudi, 2008)

Tabla 21. Caracterización del biodiésel

Parámetro	Biodiésel de aceite de café	NP EN 14214:2009 límites
Rendimiento de la reacción (%)	60.5	-
Valor ácido [(mg KOH)/(g combustible)]	2.14	<0.5
Número de yodo [(g I ₂)/(100 g combustible)]	46.5	120
Viscosidad cinemática a 40°C (mm ² /s)	12.88	3.50 - 5.00
Densidad a 15°C (kg/m ³)	911	860 - 900
Contenido de metil ésteres (% masa)	69.3	>96.5
Mirístico (C14:0)	33.24	-
Palmítico (C16:0)	9.19	-
Esteárico (C18:0)	6.27	-
Oleato (C18:1)	19.51	-
Linoleato (C18:2)	0.42	-
Linolenato (C18:3)	33.24	-

Fuente: Kondamudi, 2008

V. METODOLOGÍA

A. Secado del café

Número de corridas realizadas: 6

El equipo utilizado se encuentra detallado en la sección de apéndice de las tablas 30 a 32

A lo largo de un año, cada dos meses, se recolectaba un promedio de $16,140 \pm 0.5$ g de café residual proveniente de las máquinas de espresso de una de las tiendas de *Starbucks Guatemala*, localizada en la ciudad de Guatemala, Calle Real Villa Guadalupe diagonal 6 13-01 Zona 10, primer nivel. A esta tienda se le proporcionó un contenedor plástico con una bolsa de basura para recolectar los residuos establecidos. Al cumplir el tiempo estipulado se llegó a la tienda con un segundo contenedor plástico (Figura 27) y en este se colocó todo el café residual obtenido dejando así libre el contenedor de la tienda para nuevamente iniciar el almacenaje de residuos.

La muestra obtenida se trasladó hacia el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala usando el contenedor de plástico destinado para este fin. Al llegar al laboratorio se procedió a tomar la humedad inicial del café residual en la balanza de humedad y se pesó la cantidad total del café recolectada de la tienda *Starbucks* en la balanza de digital. Para iniciar el secado se forraron seis bandejas de acero galvanizado (530 x 325 mm) con papel aluminio y luego se empezó a esparcir el café de forma uniforme a lo largo de las bandejas hasta que estas tuvieran una masa promedio de $1,100 \pm 0.5$ g de este. Al terminar esto, se colocaron las bandejas dentro del deshidratador de gabinete y se estableció una temperatura de secado 110 ± 0.5 °C, además se anotaba la potencia inicial del deshidratador. Después de cuatro horas se sacaba una muestra de aproximadamente 1 ± 0.001 g de café residual y se tomaba la humedad, si esta se encontraba entre 10 ± 0.0005 % y 9 ± 0.0005 % se detenía el secado y se procedía a almacenar el café en una bolsa de basura (polipropileno) y posteriormente se guardaba en un contenedor cerrado de plásticos (polietileno) que se localizaba en el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala. Si en dado caso la humedad era mayor de 10 ± 0.0005 % se continuaba con el secado y se sacaban muestras de humedad cada media hora hasta alcanzar el rango de humedad antes mencionado. Al terminar se anotaba la potencia final de deshidratador de gabinete y se procedía a apagar el equipo. Cabe destacar que al pasar aproximadamente 6 horas de secado se lograba llegar a la humedad deseada. Este procedimiento de secado se realizaba una vez al mes a lo largo de 7 meses en total cada vez que se iba a recolectar muestras a la tienda *Starbucks*.

Para obtener los costos de la energía eléctrica del secado se leyó el contador eléctrico al inicio y al final del secado y luego se determinaba la diferencia, este valor representó la energía eléctrica en kWh. Para obtener el costo final el valor que se obtuvo se multiplicó por el costo de energía eléctrica en Q/kWh (Energía eléctrica (kWh) x Costo de energía eléctrica (Q/kWh)).

B. Tamizado del poso del café residual tipo espresso

Número de corridas realizadas: 3

El equipo utilizado se encuentra detallado en la sección de apéndice de la Tabla 33.

Una vez secó se secó la muestra del café residual tipo espresso se procedió a tomar tres muestras de 250.000 ± 0.001 g de estas y tamizar una por una en un tamizador tipo ROTAP durante un tiempo de 15 minutos respectivamente. El arreglo de tamices que se utilizó tenía el siguiente orden descendente: primero el mesh de 850 μm (plato 20), luego un mesh de 600 μm (plato 30), mesh de 355 μm (plato 45), mesh de 250 μm (plato 60), mesh 180 μm (plato 80), y, finalmente, mesh 150 μm (plato 100).

El costo de esta operación no se tomó en cuenta debido a que no se realizó cada vez que hizo una extracción y, segundo, porque esto fue realizado con el propósito de conocer el tamaño de partícula que se trabajaba pero al momento de replicar la metodología establecida, no se considera necesario.

C. Extracción de aceite de café con hexano a escala laboratorio

Número de corridas realizadas: 15

El equipo utilizado se encuentra detallado en la sección de apéndice de las tablas 34, 35 y 36.

Se procedió a tomar una muestra de posos de café de *Starbucks* tipo espresso de 10 ± 0.0001 g y colocarla dentro un cartucho *Soxhlet*, luego se colocaban 110 ± 0.5 mL de hexano dentro del balón esférico de tres bocas y fondo plano, sin embargo, más adelante, esto se modificó y se utilizó un balón esférico de fondo plano de una boca para reducir las fugas. El balón

esférico era colocado en una manta de calentamiento para llegar a la temperatura de ebullición del hexano (69°C), sin embargo, más adelante esto se modificó y se agregó un agitador magnético al sistema para mejorar el proceso de calentamiento.

Se armó el sistema colocando el cuerpo del Soxhlet en el balón y por encima se colocó el condensador el cual utilizó agua como refrigerante. Una vez armado, se procedía a iniciar el calentamiento usando de la manta y se podía observar como el aceite era extraído a través del cambio de coloración en del solvente de incoloro a amarillo, se esperaba a que se completaran cinco recirculaciones en el Soxhlet, proceso que tomaba un tiempo de aproximadamente 2.5 horas. Al concluir el tiempo, se retiraba la muestra y se volvía a colocar otra muestra de 10 ± 0.0001 g de café residual tipo espresso para otra extracción. Este procedimiento de extracción se realizó cinco veces para luego pasar a la destilación.

Para obtener los costos de esta operación se tomó en cuenta lo siguiente: precio del café residual tipo espresso (detallado en Tabla 31), el precio del hexano en el mercado, costo de los cartuchos utilizados(Q/cartucho) y, el costo del agua utilizada como refrigerante. Para esto último se recurrió a EMPAGUA y se asumió el consumo de agua de la Universidad del Valle de Guatemala como mayo y a 121 m^3 , además, se tomo en cuenta el tiempo de extracción por lo que al final, para obtener el costo total del agua se siguió la siguiente operación:

$$\text{Tiempo de extracción (s)} \times 0.00011 \text{ m}^3/\text{s} \text{ (caudal teórico del chorro)} \times \text{Precio agua}$$

D. Destilación de aceite de café con hexano a escala laboratorio

Número de corridas realizadas: 5

El equipo utilizado se encuentra detallado en la sección de apéndice en la tabla 37 para cristalería y para equipo adicional se utilizo el mismo detallado en la Tabla 36 para extracción de aceite de café.

Se procedió a colocar 120 ± 0.05 mL del extracto obtenido anteriormente (hexano con aceite de café) en un balón de fondo plano con tres bocas y se armó el sistema de destilación como se indica en la figura 18, utilizando agua como refrigerante. A los 45 minutos (ya la mayoría del hexano separado del aceite) se procedía a agregar otros 100 ± 0.05 mL del extracto y se

calentaba nuevamente, esperando hasta que se separa el hexano, luego, nuevamente se volvía a agregar otros $\leq 100 \pm 0.05$ mL de extracto y así sucesivamente, hasta terminar con todo el extracto obtenido con el *Soxhlet* y hacer la separación. El hexano separado se iba removiendo del sistema de destilación por medio de una pipeta de 10 ± 0.5 mL y se iba colocando en el recipiente establecido para su posterior almacenamiento.

Una vez terminada la destilación, en un beaker se colocaba el aceite de café destilado y se procedía a calentarlo hasta 70 ± 0.5 °C con agitación constante, usando un agitador magnético, para asegurar que se removiera todo el hexano del aceite. Esto se realizaba por 20 minutos.

Para el costo de la destilación se tomó en cuenta el tiempo de destilación, precio de agua y el caudal teórico del chorro.

Tiempo de destilación (s) x 0.00011 m³/s (caudal teórico del chorro) x Precio agua

E. Número ácido del aceite obtenido

Número de corridas: 1

El equipo, cristalería y reactivos utilizados se encuentran detallados en la sección de apéndice de las tablas 38 a 42.

El procedimiento seguido para la obtención del número ácido se estableció en la Universidad del Valle de Guatemala. Se inició preparando el solvente de titulación, se utilizaron 500 ± 5 mL de tolueno, 5 ± 0.5 mL de agua y 195 ± 5 mL de alcohol isopropílico anhidro. Además, se preparó una solución de hidróxido de potasio a 0.1N utilizando 6 ± 0.0001 g de hidróxido de potasio y 1±5 L de alcohol isopropílico anhidro. Por último, se preparó una solución de ácido clorhídrico utilizando 9 ± 0.5 mL de ácido clorhídrico y 1±5 L de alcohol isopropílico anhidro.

A continuación, se colocaron 5 ± 0.0001 g del aceite de café extraído en un beaker de 250 ± 25 mL y se añadieron, por medio de una bureta, 125 ± 2.5 mL del solvente de titulación. Luego se prepararon los electrodos limpiándolos y humectándolos con agua destilada. Antes de iniciar la titulación se calibró el potenciómetro colocando los electrodos en agua y esperando a que el potenciómetro empezara a mostrar valores constantes (aproximadamente esto toma un tiempo

de 5 minutos) y luego se les removió el exceso de agua. Después de esto, se lavaron los electrodos y la punta de la bureta con el solvente de titulación y luego se lavó nuevamente con el alcohol isopropílico, además, se lavó con agua destilada. Posteriormente, se dejaron los electrodos en agua por 5 minutos (para que el potenciómetro mostrara valores constantes).

Lo siguiente consistió en colocar el beaker con la muestra en una posición en que los electrodos pudieran estar sumergidos casi a la mitad, luego se inició la agitación. A continuación, se llenó la bureta con 0.1N de hidróxido de potasio (NaOH) y se colocó en posición para titular. Para esta parte, es importante destacar que la punta de la bureta debía de quedar inmersa a unos 25 mm en el líquido ya que en esta posición el cambio de concentración es más homogéneo y permite que el potenciómetro (el cual es muy sensible) muestre los datos de una manera mas precisa.

Luego de esto se agregó porciones de 0.05 ± 0.025 mL de solución 0.1N de hidróxido de potasio (KOH) y se esperó a tener un potencial constante, entre adiciones, para anotar las lecturas tanto de la bureta como del potenciómetro (para cada aumento). Así mismo, se agregó solución 0.1N de HCl en aumento de 0.05 ± 0.025 mL y se operó igual que con la solución de hidróxido de potasio (KOH).

Con el volumen del hidróxido de potasio utilizada (KOH) se logra obtener el número ácido mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Número ácido} = \frac{\text{Cantidad de KOH (mL)} \times \text{N de KOH} \times \rho \text{ del aceite } \left(\frac{\text{g}}{\text{mL}} \right)}{\text{masa del aceite (g)}} \quad \text{Ecuación 2}$$

El costo de esta operación no se tomó en cuenta debido a que no se realizó cada vez que hizo una extracción y, segundo, porque esto se hizo con fines de comparar el valor del número ácido de este aceite con el de la literatura citada y se obtuvo el valor esperado.

F. Determinación de ácidos grasos por medios de cromatografía de gases

Número de corridas: 3

Las especificaciones de los reactivos y soluciones preparadas para la determinación de los ácidos grasos presentes en el aceite de café se encuentran detalladas en apéndice de las tablas 43 a 48.

Una vez preparadas las soluciones se colocaron 20 gotas del aceite en un balón de 25 mL y se agregaron 5 ± 0.5 ml de NaOH 0.5N aforado con metanol. Luego, se colocó el balón en la estufa y se procedió a calentar a $70 \pm 0.5^\circ\text{C}$ por 10 minutos hasta que se saponificara totalmente. Posteriormente, se agregaron 3 ± 0.05 ml de BF₃ en metanol al 20% y 5 ± 0.5 mL de heptano, por último se agregó solución saturada de NaCl hasta el aforo y se trasvasó la capa superior (heptano + ácidos grasos) a un vial de 4 mL que contuviera 0.5 ± 0.0001 g de sulfato de sodio anhidro. Se inyectaron 0.4 μL de la muestra a analizar, esto se realizó en triplicado.

G. Preparación de biodiésel

Número de corridas: 3

Las especificaciones de los reactivos y cristalería utilizados se encuentran en las tablas 47, 41 y 42 del apéndice.

Para llevar a cabo la reacción para la producción de biodiésel se recurrió a una catálisis básica. Se inició colocando el aceite en el tubo de ensayo (en promedio 2 gramos de aceite de café) y calentando de $55 \pm 0.5^\circ\text{C}$ a $60 \pm 0.5^\circ\text{C}$, al alcanzar esta temperatura se agregó el metóxido (metanol + hidróxido), la cantidad de hidróxido de sodio se encontró tomando el peso del aceite y multiplicando por 0.008162, la cantidad de metanol se encontró multiplicando el peso del aceite con 0.18376 (ambas son relaciones estequiométricas). Al agregar la mezcla y se tapó inmediatamente el tubo de ensayo. Se procedió a agitar a gran velocidad por una hora mediante un agitador magnético y calentando a $60 \pm 0.5^\circ\text{C}$, luego se agregó un promedio de 40% más de metanol para asegurar que la reacción se llevara a cabo y posteriormente se volvió a tapar y

agitar por otra hora. Por último, se dejó reposar por 24 horas y se observó la separación de fases.

Para determinar los costos de esta etapa se tomó en cuenta el valor que cada proveedor le da a los reactivos.

H. EXTRACCIÓN POR PRENSA HIDRÁULICA

Número de corridas: 3

Las especificaciones del equipo utilizado se encuentra detallado en apéndice, tabla número 48, las especificaciones del hexano utilizado son las mismas del presentado para la extracción de aceite de café.

Se inició colocando la muestra de café residual en una manta de 60x60 cm y doblándola de manera en que el café no se saliera de la misma, el doblar consistía en partir por la mitad la manta y luego volver a repetir este doblar. Luego, se colocó dentro de la prensa hidráulica y se utilizó la manguera localizada en el Laboratorio de Operaciones Unitarias que corresponde al vapor vivo (43 230.13 Pa) para colocarlo sobre la manta por 5 minutos, la temperatura a la que se utilizó el vapor fue de alrededor de $78\pm 0.1^{\circ}\text{C}$. La fuerza aplicada por medio de la prensa llegó hasta 97,860.42 N (kg/m^2), luego de esto se recolectaba la mezcla de agua y aceite de café por medio de un contenedor, posteriormente se sacaba la manta y se removía para volver a colocarla y nuevamente aplicar la misma fuerza mediante la prensa. Al haber recolectado toda la mezcla de agua y aceite de café se le agregaban 100 ± 5 mL de hexano y se dejaba reposar por 24 horas. Este procedimiento se realizó en triplicado.

Para la determinación de los costos de esta extracción se tomó en cuenta el costo del café residual utilizado (detallado en tabla 52), así como el vapor vivo empleado.

I. Extracción mecánica con expeller

Número de corridas: 2

Se inició utilizando un promedio de $8,000\pm 0.5$ g de café proveniente del poso de café, este se agregaba a la parte de alimentación del equipo y se iniciaba el proceso mediante el movimiento del tornillo y se detenía cuando se había recolectado un promedio de 500 ± 50 ml de

muestra. Cabe resaltar que se modificó el equipo para poderlo manipular al diámetro de partícula más pequeño de acuerdo a su capacidad, esto se realizó ajustando mediante los tornillos de la parte del prensado. De este proceso se obtuvo la masa de café residual y una mezcla de café con agua la cual era almacenada en un contenedor cerrado de boro silicato. A esta muestra se le agregó un promedio de 100 ± 25 ml de hexano por muestra.

Este costo no se tomó en cuenta al momento de calcular el costo de extracción por métodos mecánicos.

VI. RESULTADOS

Tabla 22. Porcentaje de aceite obtenido de las extracciones y destilaciones de café residual utilizando el método b y c descrito en la sección de metodología, realizado en el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala.

Porcentaje de aceite obtenido (m/m) ± 0.01 % para 15 extracciones realidas	Desviación estándar	Comparación de aceite obtenido comparado con la literatura citada (Método oficial Suizo, AOCS, DFG) (%)	Características
15.58	0.745	99.47	Color: café oscuro, olor intenso a café, densidad promedio del aceite: 0.872 g/mL

Fuente: Elaboración propia

Tabla 23. Ácidos grasos identificados en el aceite del café por el cromatógrafo de gases HP 5890II/ChemStation, correspondientes a la décima, extracción realizada de aceite de café residual tipo espresso, prueba realizado en triplicado en el laboratorio de análisis instrumental avanzado en la Universidad del Valle de Guatemala.

	Compuesto		Área (%)
Prueba 1	Ácido palmítico	C16:0	22.05
	Ácido oléico	C18:1	15.81
	Ácido linoléico	C18:2	45.71
	Ácido linolénico	C18:3	2.95
	Ácido araquidónico	C20:4	1.73
	Otros		11.75
Prueba 2	Ácido palmítico	C16:0	17.32
	Ácido linoléico	C18:2	48.43
	Ácido oléico	C18:1	5.82
	Ácido esteárico	C18:0	3.78
	Ácido araquidónico	C20:4	1.66
	Otros		22.99
Prueba 3	Ácido palmítico	C16:0	16.75
	Ácido linoléico	C18:2	25.13
	Ácido oléico	C18:1	6.46
	Ácido esteárico	C18:0	4.45
	Ácido araquidónico	C20:4	1.55
	Otros		45.66

Fuente: Elaboración propia

VI. RESULTADOS

Tabla 22. Porcentaje de aceite obtenido de las extracciones y destilaciones de café residual utilizando el método b y c descrito en la sección de metodología, realizado en el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala.

Porcentaje de aceite obtenido (m/m) ± 0.01 % para 15 extracciones realidas	Desviación estándar	Comparación de aceite obtenido comparado con la literatura citada (Método oficial Suizo, AOCS, DFG) (%)	Características
15.58	0.745	99.47	Color: café oscuro, olor intenso a café, densidad promedio del aceite: 0.872 g/mL

Fuente: Elaboración propia

Tabla 23. Ácidos grasos identificados en el aceite del café por el cromatógrafo de gases HP 5890II/ChemStation, correspondientes a la décima, extracción realizada de aceite de café residual tipo espresso, prueba realizado en triplicado en el laboratorio de análisis instrumental avanzado en la Universidad del Valle de Guatemala.

	Compuesto		Área (%)
Prueba 1	Ácido palmítico	C16:0	22.05
	Ácido oléico	C18:1	15.81
	Ácido linoléico	C18:2	45.71
	Ácido linolénico	C18:3	2.95
	Ácido araquidónico	C20:4	1.73
	Otros		11.75
Prueba 2	Ácido palmítico	C16:0	17.32
	Ácido linoléico	C18:2	48.43
	Ácido oléico	C18:1	5.82
	Ácido esteárico	C18:0	3.78
	Ácido araquidónico	C20:4	1.66
	Otros		22.99
Prueba 3	Ácido palmítico	C16:0	16.75
	Ácido linoléico	C18:2	25.13
	Ácido oléico	C18:1	6.46
	Ácido esteárico	C18:0	4.45
	Ácido araquidónico	C20:4	1.55
	Otros		45.66

Fuente: Elaboración propia

Tabla 24. Ácidos grasos presentes en la fase oleosa producida después de la reacción con metóxido (transesterificación) utilizando el aceite extraído de la última extracción realizada con el método de determinación de ácidos grasos por medio de cromatografía de gases.

Compuesto		Área (%)	Otros compuestos identificados en el cromatógrafo de gases	
Prueba 1	Ácido palmítico	C16:0	36.39	Acetona dimetil acetal
	Ácido esteárico	C18:0	9.19	Metanol
	Ácido oleico	C18:1	15.69	Hexano
	Ácido linoleico	C18:2	31.06	Heptano
	Ácido araquidónico	C20:4	5.17	1,2 dimetilciclopentano
	Ácido behénico	C22:0	1.64	Monoleato propilenglicol Ferroceno
Prueba 2	Ácido palmítico	C16:0	36.5	3- metilhexano
	Ácido esteárico	C18:0	9.85	Metanol
	Ácido petroselínico	C18:1	15.61	Hexano
	Ácido linoleico	C18:2	32.55	Heptano
	Ácido araquidónico	C20:4	0.51	1,2 dimetilciclopentano
	Ácido behénico	C22:0	0.51	Monoleato propilenglicol Acetona
Prueba 3	Ácido azelaico	C 9:0	0.24	Metil etil cetona
	Ácido mirístico	C14:0	0.23	2-Pentane laoticionate
	Ácido palmítico	C16:0	37.07	N, N- Dimetilpropanamida
	Ácido margárico	C17:0	0.16	Trimetil oxirano
	Ácido esteárico	C18:0	10.17	Ciclopentadecano
	Ácido petroselínico	C18:1	0.71	2, 2 Dimetilhexano 1- pentanol
	Ácido oleico	C18:1	15.52	Alcohol propílico
	Ácido linolenico	C18:3	27.64	Ácido oxálico
	Ácido gondoico	C20:1	0.41	Hexano
	Ácido araquidónico	C20:4	4.11	
Ácido tricosanóico	C23:0	0.24		

Fuente: Elaboración propia

Tabla 1. Costo total de la extracción de aceite por método *Soxhlet* a partir de 10 ± 0.0001 g de café residual tipo espresso utilizando hexano y costo total de las destilaciones para su obtención.

	Costo (Q.)	Detalle
Extracción Soxhlet	Costo de hexano utilizado para 15 extracciones	296.67 Según Alkemy (Q.176.8/L) *Se recuperó en promedio el 60% de hexano utilizado
	Costo de posos de café residual tipo espresso (10g)	0.15 Este costo se basó en el total utilizado para desecharlo =Costo total del café (Tabla 48) x 10g/Cantidad de café total utilizado (16,140±0.5 g)
	Precio agua	30.56 El costo por m ³ incluyendo el porcentaje de alcantarillado más el cargo fijo en quetzales según EMPAGUA (Empresa municipal de agua). Al tomar el consumo de agua de la UVG como mayor a 121m ³
	Costo de agua utilizado para 15 extracciones	181.52 Tiempo de extracción (s) x 0.00011 m ³ /s (caudal teórico del chorro) x Precio agua
	Costo de 15 cartuchos	30.00 Costo según Dilab por pliego de papel filtro Q.30.00 (15 cartuchos por pliego)
Destilación	Costo de agua utilizada para las 5 destilaciones (4 horas)	48.40 Tiempo de destilación (s) x 0.00011 m ³ /s (caudal teórico del chorro) x Precio agua
	COSTO TOTAL	556.74 Costo para extraer 23.36 ± 0.001 g de aceite a partir de poso de café residual tipo espresso. (15 extracciones y 5 destilaciones)
	Costo po gramo de aceite de café (Q./g)	23.83

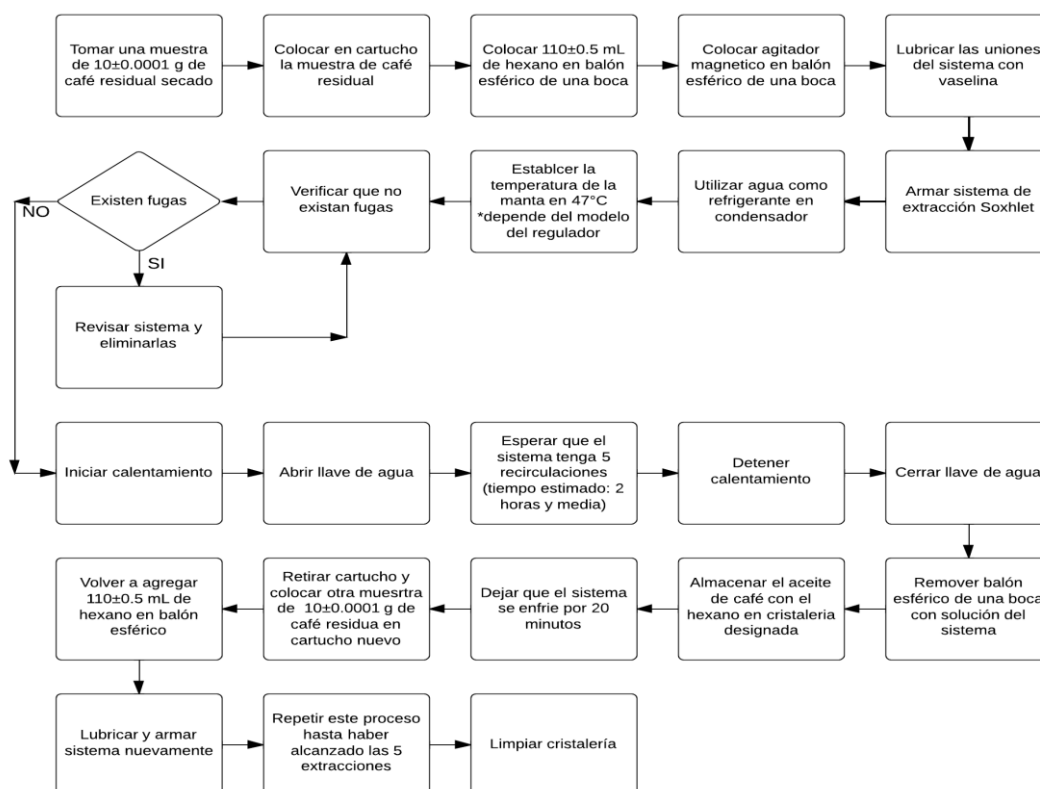
Fuente: Elaboración propia

Tabla 2. Costo total para pruebas para producción de biodiésel (en triplicado) a partir de 10 g de peso de café residual tipo espresso y costo total de las etapas involucradas.

	Costo (Q.)	Detalle
Costo para extraer 23.36 \pm 0.001 g de aceite a partir de peso de café residual tipo espresso. (15 extracciones y 5 destilaciones)	556.74	De Tabla 25
Biodiésel Costo metanol	1.64	Costo según Quirsa Q.160/L
Costo hidróxido de sodio (NaOH)	1.84x10 ⁻⁵	Costo según QuimiProva Q.3680/t
Costo total pruebas para producción de biodiesel a escala laboratorio	1.63	
COSTO TOTAL	558.38	Costo total de extracción, destilación y pruebas para producción de biodiesel a partir de 10 \pm0.0001 g de caf

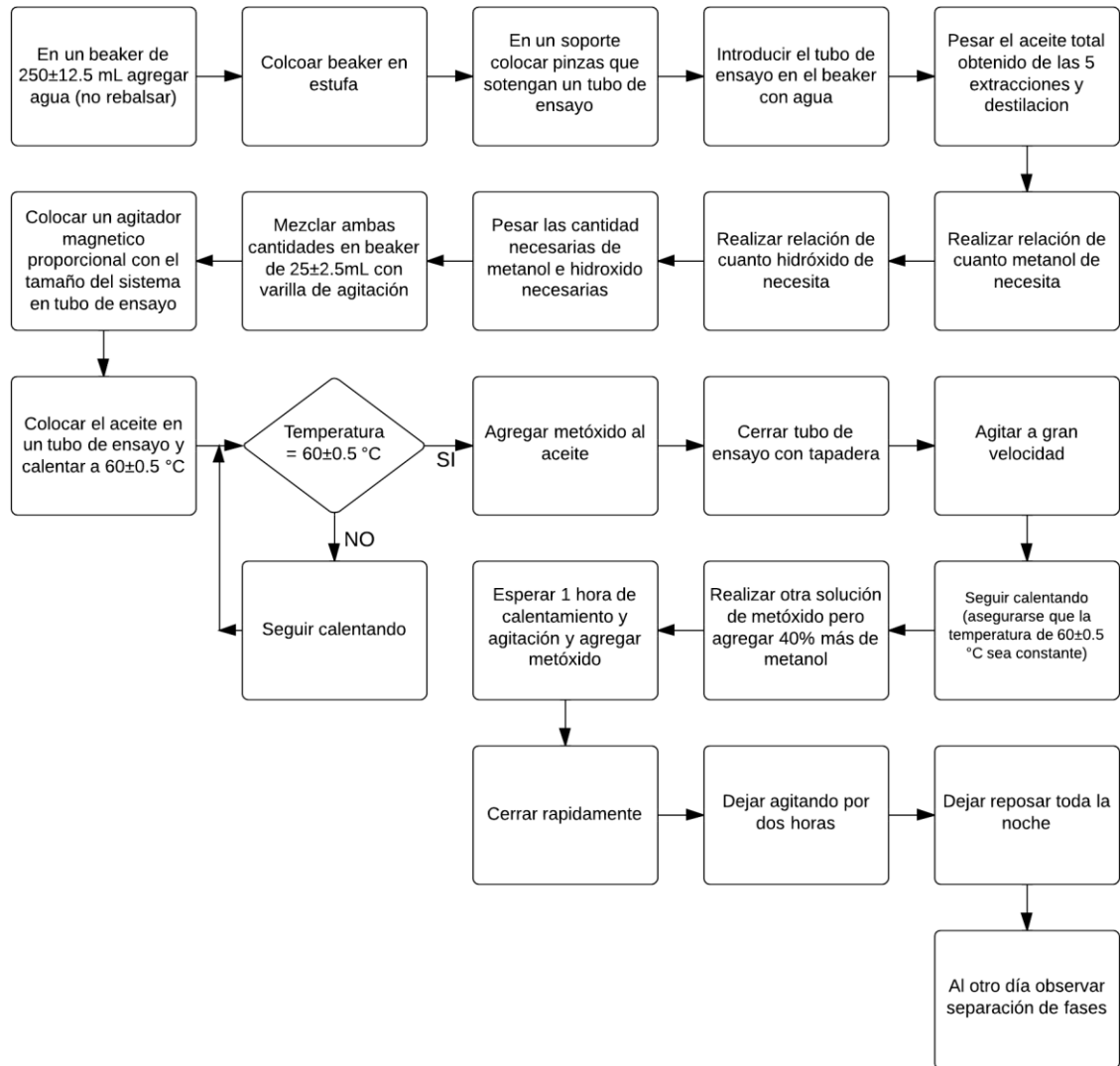
Fuente: Elaboración propia

Figura 1. Procedimiento establecido para la extracción de aceite de café proveniente del peso de café residual tipo espresso a escala laboratorio utilizando Soxhlet



Fuente: Elaboración propia

Figura 2. Procedimiento establecido para producción de biodiésel a escala laboratorio



Fuente: Elaboración propia

Tabla 3. Costo total para pruebas de extracción mecánica de aceite de café en triplicado utilizando prensa hidráulica a partir de 350 ± 0.0001 g de aceite de poso de café residual tipo espresso

		Costo (Q.)	
Extracción mecánica	Vapor vivo proveniente de la caldera	186.78	Costo obtenido de práctica de Operaciones Unitarias 2013 sobre la Caldera en la Universidad del Valle de Guatemala
	Costo de café residual utilizado (1050 ± 0.0001 g)	35.00	Valor de desecho estimado para Starbucks según costos para desecharlo (detalle en tabla 31)
	Manta Hexano (300 ± 5 mL)	60 53.04	Cotización según Cantel (Q.60/yd) Cotización según Alkemy (Q.176.8/L)
Pruebas para producción de Biodiésel		-	No fueron realizadas pruebas
	COSTO TOTAL	334.82	Precio total para pruebas de extracción mecánica de aceite de café
	Costo por mililitro (Q./mL)	1.11	Obteniendo en promedio 300 ± 50 mL de aceite de café con agua al finalizar cada prueba.

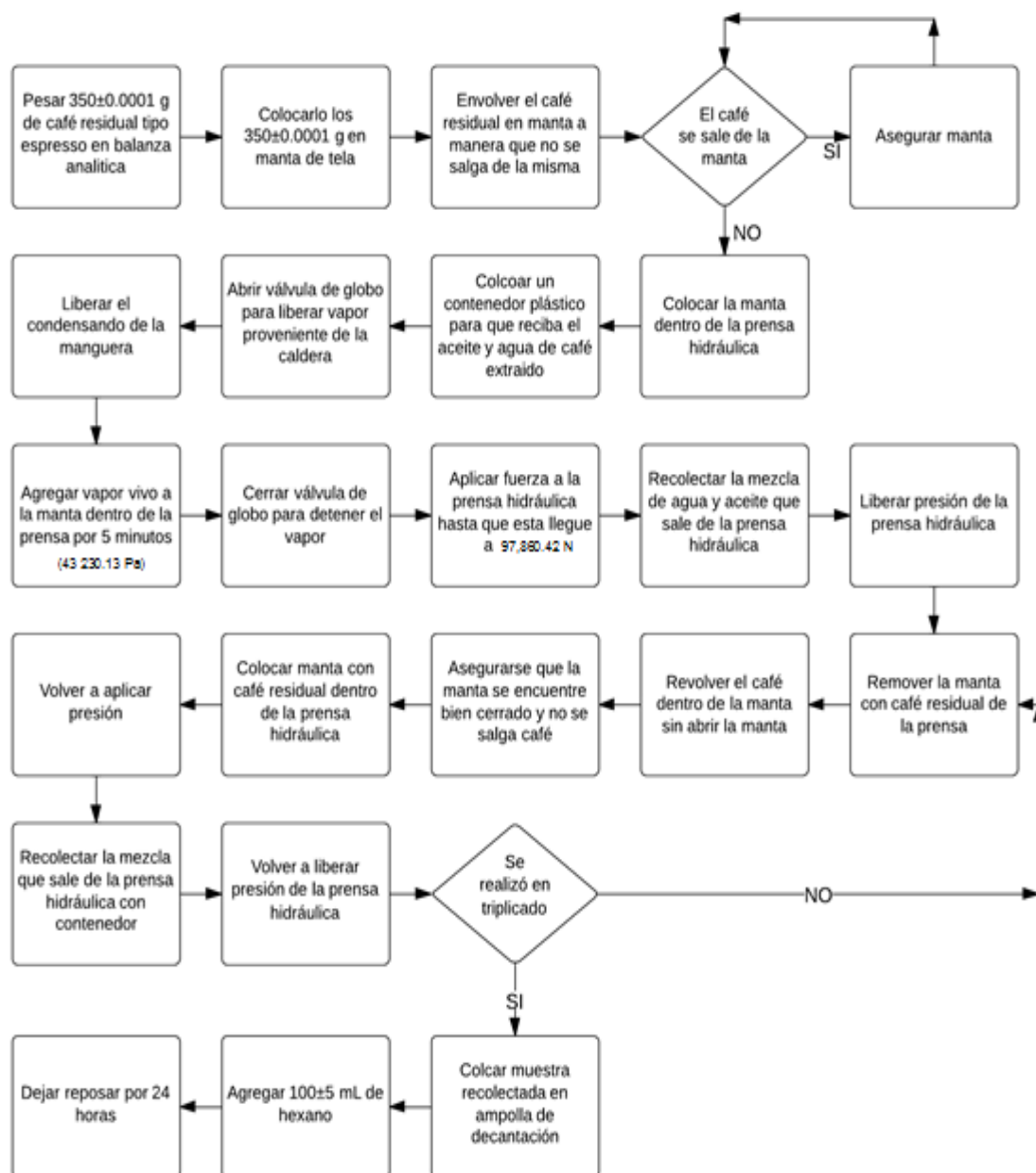
Fuente: Elaboración propia

Tabla 4. Comparación de la extracción a escala laboratorio por medio de Soxhlet y de extracción mecánica realizada para extracción de aceite de café

	Costo (Q.)	Ventajas	Desventajas
Extracción mecánica	281.78	Se puede manejar un mayo volumen.	Difícil manejo de la materia prima debido al tamaño de partícula de el café residual tipo espresso No fue posible una separación completa del aceite
Extracción Soxhlet	556.74	Se puede obtener un 15.58% (m/m) de aceite de café a partir de 10 g de café residual.	Representa una mayor inversión de tiempo y dinero. Se deben de realizar varias extracciones para obtener suficiente aceite para las pruebas.

Fuente: Elaboración propia

Figura 23. Procedimiento para la extracción mecánica de aceite de café con la prensa hidráulica en el Laboratorio de Operaciones Unitarias utilizando una fuerza de 97,860.42 N y vapor vivo a 43, 230.13 Pa.



Fuente: Elaboración propia

Tabla 29. Evaluación de la factibilidad técnica para la obtención de aceite por métodos mecánicos

Equipo	Cantidad de café residual utilizado (g)	Otras condiciones utilizadas	Temperatura del equipo utilizado (°C)	Tratamiento previo a extracción mecánica	Tratamiento posterior a la extracción mecánica a la muestra obtenida	Resultado
Prensa hidráulica	350±0.0001g	Fuerza aplicada de 97,860.42 N	50±°C	Calentamiento con vapor vivo (78°C y 43,230.13 Pa) por 5 minutos	100±25ml de hexano por muestra de 500 mL recolectada	No fue posible la separación del aceite de café
Expeller	8,000±0.5 g	12,159,000 Pa	120-135±0.5 °C	Ajuste del equipo para utilizar el diámetro de partícula más pequeño	100±25ml de hexano por muestra de 500 mL recolectada	No fue posible la separación del aceite de café

Fuente: Elaboración propia

VII. DISCUSIÓN

Para cumplir con los objetivos establecidos se siguió la metodología previamente establecida, además, se presentan hallazgos encontrados con lo que respecta al tipo de café utilizado y al aceite extraído del mismo.

Al momento de recolectar el café, las muestras presentaban una humedad que llegaba hasta el 65 ± 0.0005 % y después del secado en promedio, ésta se encontraba en un 8 ± 0.0005 %. Con esta nueva humedad se facilitaba el proceso de extracción y era posible retardar la descomposición de las muestras del café residual para hacer todos los análisis sin problemas.

Se determinó que el tiempo máximo de almacenamiento para el café era de un mes, ya que después de esto la muestra presentaba moho debido al aumento de humedad durante este tiempo por la propiedad del material de absorber agua del ambiente. En esta situación, el cambio en la composición del sólido pudo haber afectado el contenido de aceites y el efecto de esta variable se eliminó controlando la humedad del café y, estableciendo como límite máximo de humedad un 15%, la cual nunca fue superada.

Entre menor sea el tamaño de partícula se puede obtener un mayor rendimiento de extracción, debido a esto se determinó el tamaño de partícula para el café residual tipo espresso proveniente de la empresa *Starbucks*. Utilizando tamizaje se obtuvo un rango de tamaño de partícula correspondiente de 0.180 mm a 0.354 mm, este último representó el 70% de la muestra analizada. Tomando esto en cuenta, se tiene que el tamaño de partícula obtenido contribuyó a un mejor rendimiento si se compara con otros desechos de café, un ejemplo más concreto de esto, sería el café residual proveniente de percoladora, este también fue analizado y generado por la tienda *Starbucks*. Este posee un tamaño de partícula correspondiente a un rango entre 595 mm y 0.840 mm (tabla 55). En donde el porcentaje promedio de aceite obtenido de las extracciones realizadas fue de $12.3 \pm 0.01\%$ (m/m). El tamaño de las partículas afecta a la velocidad de extracción de diversas maneras. Cuanto más pequeño es el tamaño, mayor es el área de contacto entre el sólido y el solvente y, por tanto, más elevada la velocidad de transferencia de material. Además, menor es la distancia que debe de recorrer el soluto por el interior del sólido. En las extracciones realizadas no se tomó en cuenta utilizar parte de este desecho proveniente de percoladora, ni utilizar este como materia prima debido a que el poso de café proveniente de la máquina de espresso presentó una mayor disponibilidad para trabajar en ella.

En lo que respecta a lo encontrado en las extracciones de aceite de café realizadas a escala laboratorio, se obtuvo a partir de los 10 ± 0.0001 g de café residual tipo espresso utilizados, un promedio de $15.58 \pm 0.01\%$ (m/m) de aceite con una desviación estándar de 0.745. Este resultado se decidió comparar con tres valores de la literatura que fueron tomados como teóricos (Tabla 15) para realizar el cálculo. El primer valor teórico consultado fue el obtenido mediante el método oficial Suizo, este es de 15.54% (m/m), por lo que el cociente de esta relación da como resultado un rendimiento de $100.25 \pm 0.01\%$. Este valor refleja que tanto el método utilizado como la materia prima empleada, son, en conjunto, una ruta viable para la extracción de aceite y debe de ser considerado para futuras investigaciones. A continuación, se realizó la misma comparación, pero, en este caso, se tomó como valor teórico el resultado obtenido por la Sociedad Americana de Químicos de Aceite (AOCS, por sus siglas en inglés) el cual es de 15.10% (m/m), en este caso, el rendimiento fue de $103.17 \pm 0.01\%$. Y, por último, de la Asociación Alemana de las Ciencias de los Lípidos (DGF, por sus siglas en alemán) presentó en sus investigaciones un porcentaje en masa del aceite de 16.40% (m/m). En este caso, el cociente de la relación de los resultados respectivos da 95 ± 0.01 . Según lo anterior, el porcentaje en promedio de la extracción de aceite de café a partir del poso resultante de la fabricación de bebida caliente tipo espresso fue de $99.47 \pm 0.01\%$ al ser comparado con los tres métodos indicados anteriormente.

El rendimiento de aceite crudo es una función no sólo de la especie (tabla 63), sino también de condiciones como humedad de la muestra, tamaño de partícula, área superficial y duración de la extracción. Así mismo, la elección del solvente influye en el resultado, el hexano fue utilizado ya que ha probado ser adecuado para realizar extracciones de aceite vegetales y cumple con los parámetros específicos en cuanto a su pureza y facilidad para su eliminación total. El hexano es fácil de recuperar después de la extracción y posee selectividad hacia los lípidos neutros. Esto se debe a su punto de ebullición (69°C), su poca sensibilidad al calor y su alta volatilidad. En consecuencia a sus propiedades se requiera menos energía para removerlo de los sólidos. Además, no irrita la piel humana y no posee una toxicidad inmediata (Tabla 62). Se realizó una comparación entre el hexano, éter de petróleo, isopropanol y etanol (Tabla 61), el etanol no fue utilizado debido a que poseía un bajo rendimiento de extracción, mientras que el éter de petróleo e isopropanol a pesar de presentar mejores rendimientos y costos por litros más bajos que el hexano, también requieren mayores tiempos de extracción, de 6 horas en adelante, por lo cual a largo plazo el precio de la extracción se hubiera elevado (debido a la utilización del agua) alrededor de Q700.00 para realizar las 15 extracciones. Tomando todo lo anterior en cuenta la ruta más viable como solvente era el hexano, además, cabe mencionar que únicamente el isohexano, un isómero con propiedades parecidas al hexano, ha reemplazado al hexano de manera significativa en las plantas de extracción.

El aceite obtenido a partir del café residual tipo espresso de la empresa *Starbucks* se encuentra dentro de los valores establecidos teóricamente. Un factor que pudo haber contribuido al rendimiento obtenido es el tomar en cuenta que el café residual tipo espresso se encuentra conformado por varios tipos de café como por ejemplo “espresso roast” y “sumatra”, los cuales se caracterizan por la intensidad de su tostado al compararlos con las demás variedades de cafés que ofrece *Starbucks* (Tabla 64), y, como se indica Ramírez, (2008:23), mientras mayor sea el grado de tueste del grano del café, mayor puede ser la cantidad de aceite posible a extraer. Según este autor, el porcentaje de aceite recuperado con respecto a la masa de la muestra, usando éter de petróleo, es de 15.51% y por otro lado, el método oficial Suizo 35A/08 en base seca tiene un rendimiento de 15.54%. Como se observa, el café espresso residual utilizado como materia prima y bajo el método establecido presenta un rendimiento similar a los demás pese a tener un tiempo de contacto diferente, así como diferencias en el tipo de cartucho utilizado, tipo de solvente y tipo de destilación (ya que la literatura sugiere destilación al vacío). Pero lo hace una materia prima potencial para obtener aceite y un método que se puede replicar para extracción de aceite de café.

Según Caetano *et al.* (2012:12), la mayor cantidad de aceite extraído se obtiene en las primeras horas del proceso, dato comprobado ya que al inicio de la investigación se realizaban extracciones de 5 horas, sin embargo, al reducir el tiempo 1 hora (4 horas de extracción), no se observó un cambio significativo en el rendimiento, por lo cual se siguió reduciendo hasta llegar a 2 horas y 30 minutos. En este punto se compararon los resultados del porcentaje de aceite obtenido entre la extracción de 5 horas y la última indicada. La diferencia fue de $0.1 \pm 0.01\%$ (m/m), debido a esto se decidió elegir el menor tiempo para llevar a cabo las extracciones. Además, el cambio de coloración en el solvente que se observaba debido a la presencia del aceite era más notable durante este lapso de tiempo ya que el aceite se encontraba en mayor concentración en las superficies de las partículas del café residual tipo espresso. Así mismo, se decidió realizar una mayor cantidad de extracciones para poder tener una mayor disponibilidad de aceite de café y poder realizar una mayor cantidad de pruebas para la producción de biodiésel.

La densidad obtenida del aceite fue de 0.872 g/mL, además, poseía un color café oscuro (se resalta que el color amarillo fuerte se tornaba café oscuro conforme transcurría la extracción mediante el método Soxhlet) y un olor intenso a café, con esto último es importante destacar que la alta cantidad de compuestos aromáticos presentes en el café hizo que fuera posible detectar el

aroma característico del café en todas las etapas que involucró esta investigación. Esta propiedad es apreciada en todas las investigaciones citadas en este trabajo y no es exclusiva de un solo tipo de café.

El aceite extraído no presentó cambios mientras fue almacenado, el tiempo máximo fue de 5 días en un recipiente cerrado a temperatura ambiente. Sin embargo, si se necesitara almacenar más tiempo, se debería de controlar la temperatura y humedad a la cual se encuentra almacenada la muestra y, llevar un registro de las propiedades del aceite como lo podrían ser la densidad y la acidez para asegurar que las propiedades de interés se mantengan. Es importante destacar que todo esto representaría un costo extra en el proceso. Para este caso se tendría que tener un mayor cuidado sobre la temperatura y sobre el envase de almacenamiento (que este lo proteja de la luz). Así mismo, las características como acidez y densidad se tendrían que controlar en este lapso de tiempo ya que estas pueden llegar a afectar la producción de biodiésel posterior.

En la cromatografía de gases fue posible identificar como ácido graso insaturado al ácido oleico, como saturados se encontró al ácido palmítico y esteárico, y los ácidos grasos poliinsaturados encontrados en el aceite de café fueron el linoleico, linolénico y araquidónico. Cabe resaltar que dentro de la literatura investigada se encontraron estos compuestos mencionados excepto el ácido araquidónico, el cual estaba presente en las tres muestras de aceite analizadas. Este compuesto puede diferenciar el aceite de café a partir de café residual tipo espresso, proveniente de *Starbucks*, de los demás aceites de café obtenidos encontrados en la literatura citada. El perfil de ácidos grasos encontrados influye mucho en el comportamiento físico y químico del biodiésel; para el cálculo del índice de cetanos los ácidos grasos saturados lo aumentan mientras que los ácidos grasos insaturados los disminuyen. Otro aspecto es que altas concentraciones de ácidos grasos saturados y de cadena larga aumentan el punto de turbidez (Zuleta *et al.* 2012)

Las concentraciones de los ácidos grasos de la muestra de aceite de café no fueron determinadas ya que el objetivo era únicamente la identificación de los ácidos grasos dentro del aceite.

El número ácido del aceite de café fue obtenido mediante la metodología indicada (potenciométrica), el valor obtenido fue de 0.167 ± 0.0005 mg KOH/g aceite (una prueba realizada), en base a este resultado y tomando en cuenta los resultados de la tabla 10 y la

literatura encontrada se decidió no someter al aceite del café a una catálisis ácida y optar por una transesterificación catalizada por base. No fueron realizadas más pruebas ya que no se poseía una cantidad suficiente de aceite para estas pruebas, además, se tenían bastantes fuentes literarias que seguían la misma ruta de catálisis básica con resultados satisfactorios.

Unos de los objetivos era evaluar la factibilidad técnica para la obtención de aceite por métodos mecánicos y establecer un procedimiento para la misma, que permita la producción de biodiésel en la planta piloto del laboratorio de operaciones unitarias. Este objetivo no fue alcanzado primordialmente porque la obtención de aceite no fue posible de llevarse a cabo con los equipos disponibles en el Laboratorio de Operaciones Unitarias. Se utilizaron dos tipos de equipos diferentes para tratar de llevar a cabo la extracción (la prensa hidráulica y el expeller), se trabajó en triplicado y condiciones como temperatura y presión fueron controladas. Sin embargo, no fue posible obtener una muestra concreta para analizar los productos obtenidos de ambos equipos.

Al momento de establecer una metodología para extracción mecánica, se tenía como desventaja el tamaño de partícula del café residual tipo espresso, esto se debía a que los equipos utilizados (expeller y prensa hidráulica) no se adecuaban al tamaño de esta. Actualmente las extracciones mecánicas para extraer aceite de café son utilizadas pero estas manejan granos de café en donde el diámetro de partícula (de 4.76 mm a 7.95 mm) facilita el proceso en el equipo. Además, la mayor parte de los equipos para extraer aceite de alguna semilla o grano, se encuentran diseñados para trabajar con partículas que pueden ir de 1.5 mm en adelante. La utilización del grano de café no fue tomada en cuenta para esta investigación debido a que este es el cultivo agrícola de mayor exportación en Guatemala.

Para extraer el aceite por método mecánico era preciso romper las paredes de las células vegetales y para esto se estableció una metodología la cual consistía en utilizar una prensa hidráulica en donde se controlaron las variables de presión y temperatura, además, se utilizó vapor vivo para que su energía de activación contribuyera a la extracción. Mediante las condiciones establecidas, no fue posible obtener aceite de café, por lo cual se recurrió a la utilización del hexano. Tomando ya en cuenta la utilización del solvente en el proceso, se buscó que la temperatura de trabajo fuera lo suficientemente alta ($45.00 \pm 0.01^\circ\text{C}$) como para reducir la viscosidad del solvente, elevar la solubilidad del aceite, y, al mismo tiempo, que esta no afectara la estabilidad molecular de los ácidos grasos presentes en el mismo. Es importante destacar que

la humedad del café residual tipo espresso utilizado como materia prima para esta etapa se encontró siempre entre $8\pm 0.0005\%$ y $15\pm 0.0005\%$.

Con la prensa hidráulica se aplicó una fuerza que llegó hasta los 17,236.87 Pa, como subproducto se obtuvo una torta húmeda de café, mientras que el producto fue agua con café, a este último, al agregarle el hexano (100 ± 5 mL) fue posible observar la separación de la fase orgánica con la fase oleosa.

La fase orgánica presentó un cambio en su coloración a un amarillo intenso, lo cual indicó la presencia de aceite en esta muestra, sin embargo, al dejar reposar esta muestra por 24 horas (debido a la cantidad de tiempo que se disponía) se encontró que la parte oleosa se había solidificado y no fue posible fundirla y determinar los compuestos que la conformaban.

Para corregir lo anterior se procedió a realizar la prueba de una manera más rápida para evitar así la formación de los sólidos en la muestra recolectada. Se agregó hexano para que extrajera los ácidos grasos y rápidamente esta fase fue removida y puesta a calentar para remover el agua contenida en la muestra. Con este paso, se esperaba poder cuantificar y cualificar mediante la masa y posteriormente análisis de ácidos grasos la cantidad de aceite obtenida del prensado. Sin embargo, las propiedades utilizadas no fueron lo suficiente y se obtuvo, en este caso, un compuesto sólido oscuro que tampoco fue posible de fundir para analizar y determinar si verdaderamente se trataba de aceite en esa muestra.

Para corregir esto y facilitar la extracción de los aceites se realizaron dos pruebas en donde se siguió el mismo procedimiento indicado y la única diferencia fue que el café residual tipo espresso era calentado en el horno de microondas por 40 segundos para que esta energía de activación contribuyera a impulsar los aceites dentro de la muestra. Con este procedimiento fue posible observar una fase oleosa más pronunciada al momento de prensar la muestra, sin embargo, no fue posible analizar esta muestra ya que la extracción no fue realizada correctamente, ya que al momento de evaporar y separar no se encontró la diferencia de fases.

Como ruta alterna, se realizaron tres pruebas en el expeller que se encuentra localizado en el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala. Las muestras obtenidas tenían se deterioraban en tres días ya que después de esto era notoria la presencia de moho. Esta prueba requería de una mayor cantidad de café y no era notoria una separación de

fases al agregar el hexano como sucedía con la muestra recolectada de la prensa hidráulica, además, no fue posible analizar las muestras ya que no se pudo obtener una muestra representativa del aceite ya que este en su mayoría aún se encontraba en el café residual espresso.

El problema encontrado con este tipo de extracción se presentó en la separación completa del aceite de café de la muestra obtenida. Con las pruebas anteriores se tiene que la mayor cantidad de aceite de café aún se encontraba presente en el residuo de poso de café, y calentando con vapor vivo (78°C y 43 230.13 Pa) y prensado no fue posible extraer ni separar una cantidad suficiente de aceite para analizar ni realizar pruebas para producción de biodiésel. Se tiene que la torta de café obtenida en teoría posee un contenido de aceite que puede ir de 9% a 10% lo que sumado a sus otras características favorables lo hacen un producto con amplio potencial de utilización. (Lopez, 2007:30) Sin embargo, es necesario modificar el método utilizado para poder obtener algún resultado y tomar en cuenta un tratamiento con algún disolvente como el hexano para que este arrastre el aceite contenido en el café residual. Una de las limitantes que presentó el expeller fue que el café residual utilizado como matería prima se calentaba con vapor, pero al pasar a la sección del tornillo prensa no se experimentaba un aumento de presión ya que los gránulos salían por las rendijas de la criba. Se varió la cantidad de vapor, el tiempo de contacto de este con la muestra, y ajustar el equipo para que lograra hacer presión sobre el café, sin embargo, a pesar de obtener muestras en el equipo no fue posible analizar y determinar la composición de la muestra obtenida.

Al finalizar las pruebas no se logró establecer un método para obtener aceite de café residual proveniente de la máquina de espresso por métodos mecánicos.

Las ventajas de la extracción mecánica realizada con prensa fueron la facilidad del proceso, tiempo de trabajo y poder trabajar con un mayor volumen de café comparándolo con la extracción Soxhlet. Las dificultades principales fueron el tamaño de partícula con el que se trabajó (0.354 mm) y la obtención del aceite. Debido a que su reducido tamaño (0.354 mm), el café residual tipo espresso puede llegar a contaminarse ya que atraviesa los agujeros o aberturas de los equipos utilizados. Para corregir esto, se podría recurrir a obtener una materia prima de mayor tamaño (grano entero).

Cabe destacar que no fue posible determinar la factibilidad técnica de la extracción mecánica debido a que el enfoque se realizó en las etapas de preparación de la muestra y en la utilización del hexano. Inicialmente se buscaba la producción de biodiésel, sin embargo, al no poder separar el aceite de la muestra, los esfuerzos y estudios fueron enfocados en esta etapa y al no ser lograda no se pudo continuar con el cumplimiento del objetivo.

La metodología para extracción de aceite utilizando la prensa hidráulica (en triplicado) tuvo un costo total de Q. 334.82 y como se puede observar en la tabla número 27, el mayor costo lo representa el vapor proveniente de la caldera. Sin embargo el costo total para esta investigación presenta el potencial para producir biodiésel de segunda generación, en donde la materia prima posee mayor disponibilidad y un menor precio. Esto representa una ventaja ya que en otros procesos, como por ejemplo, en la operación para extracción de aceite para semilla de algodón, la obtención de materia prima representa la mayor inversión.

Debido a que no se pudo obtener aceite de café por métodos mecánicos únicamente se realizaron pruebas para el aceite obtenido de la extracción con la metodología Soxhlet establecida previamente. Para la producción de biodiésel a escala laboratorio se utilizó una relación estequiométrica para calcular la cantidad de hidróxido de sodio y metanol necesarios, la cual es indicada en la sección de metodología. Se utilizaron 5 ± 0.01 mL de aceite, sin embargo, se debe resaltar que inicialmente se tomaban 50 ± 0.01 mL de aceite y la cantidad de metóxido correspondiente en donde el resultado obtenido era una materia oscura sólida sin ninguna separación de fases visible, en donde se concluyó que parte del metóxido había sido evaporado debido a los rastros en la parte superior del recipiente. Por lo que se aumentó la velocidad de agitación y se redujo tanto el recipiente como la cantidad de aceite. De esta manera se pudieron realizar más pruebas y tener un mayor control sobre las mismas.

Debido a que la reacción de transesterificación no se llevaba a cabo correctamente, se agregó 40% más de metanol y 1.5% de hidróxido de sodio, y se siguió agitando velozmente a manera de lograr que los aceites que no habían reaccionado entrarán en contacto con el metóxido. El objetivo de esto fue para agregar un nuevo paso de transesterificación, se recurrió a esta cantidad debido a que al analizar la metodología establecida por Kondamudi et al. 2008, se encontró que con esta relación se obtenía el mayor rendimiento de biodiésel, por lo que partiendo de este principio se realizó la mezcla, sin embargo los resultados no fueron favorables. A pesar de haber tenido una separación de fases el resultado obtenido no fue biodiésel, pero, fue analizado en cromatografía de gases para indicar que aún habían ácidos grasos en la muestra que no habían reaccionado, sin embargo la muestra también presentaba otros interferentes que

no pudieron ser identificados pero que sugieren que es necesario un tratamiento del aceite previo a la producción de biodiésel, sin embargo, para esto, es necesario tomar en cuenta una mayor cantidad de características del aceite y observar qué parámetros están fuera de los rangos indicados en la literatura para poder realizar una metodología para el tratamiento. En este trabajo eso no fue realizado debido a que el enfoque estuvo dirigido a la extracción de aceite y la reacción de este para producción de biodiésel, y no en el estudio detallado del aceite de café.

Los factores que influyen en la producción del proceso de biodiésel son los ácidos grasos libres y el contenido de agua, a pesar de que el número ácido era menor a 1.0 mg KOH/g, no fue posible determinar el porcentaje de agua presente en el aceite, sin embargo, el aceite una vez destilado era sometido a una temperatura de 100°C para asegurar la evaporación del agua para eliminar esa variable. Por lo que se considera que algún interferente dentro del aceite obtenido posee ciertas características que pudieron haber contribuido a reducir el rendimiento de la reacción desactivando el catalizador y formando de jabones. Las variables controladas en este estudio fueron el tiempo de agitación, velocidad de agitación y cantidad de catalizador, pueden ser variadas para contribuir a una producción de biodiésel con el aceite extraído.

Este método utilizado posee la dificultad de tratar con cantidades muy pequeñas de reactivos por lo cual es necesario un mayor cuidado y precisión con el manejo de los mismos especialmente en la fase de transesterificación en donde el metóxido utilizado puede evaporarse con mayor facilidad.

El costo total para la obtención de aceite de café residual tipo espresso por medio de 15 extracciones y 5 destilaciones fue de Q.556.74, añadiendo el secado del café y las pruebas de biodiésel en triplicado se tiene un costo total de Q. 559.28. En donde el que representa la mayor inversión es el solvente, el cual en este caso fue el hexano.

A pesar de lograr un rendimiento de extracción de aceite de café a partir de café residual tipo espresso parecido al de la literatura y de encontrar que el aceite de café se encuentra conformado por ácidos grasos característicos para producción de biodiésel, se encontró que la reacción para la producción de biodiésel a escala laboratorio no pudo ser completada. A pesar de haber controlado las condiciones bajo las cuales se trabajó e ir eliminando variables como se indicó anteriormente no se pudo obtener el producto deseado, por lo cual se debe de profundizar

en el pretratamiento del aceite y lograr una mejor pureza del mismo para mejorar las condiciones y obtener resultados satisfactorios.

Al comparar los costos de la extracción mecánica en el Laboratorio de Operaciones Unitarias y a escala laboratorio realizaba por medio del Soxhlet, se encuentra que este último, a pesar de la inversión, presenta la mejor ruta para pruebas de producción de biodiésel debido a los resultados indicados en este trabajo. Sin embargo, se debe de tomar en cuenta que el método mecánico no presenta una cantidad significativa de solvente (el cual es el que posee el mayor costo a escala laboratorio). Si se llegara a encontrar una para la extracción de aceite de café residual por método mecánico se tendría como ventaja la cantidad de materia prima disponible para su uso.

Es importante considerar que otros factores que pudieron haber afectado la extracción y posterior producción de biodiésel a partir del aceite de café es el hecho que varias veces el café que era recibido de *Starbucks* poseía vasos con varios tipos de bebidas que se sirven en el lugar como por ejemplo; vasos con residuos de chocolate, vainilla, bebidas frías con saborizantes, etc. Estos representaban un 3% del peso total del café recolectado.

El método utilizado está influenciado por la literatura citada, sin embargo, este trabajo fue experimental y a lo largo del camino se fueron agregando más variables y encontrando ciertas características que deben de ser consideradas al momento de realizar una extracción mecánica a partir de café residual tipo espresso. Se considera que a pesar de no haber logrado todos los objetivos es un buen punto de partida para continuar y profundizar en el tema de extracción de aceite de café proveniente de la extracción en poso de café resultante de fabricación de bebida caliente tipo espresso para la producción de biodiésel.

VIII. CONCLUSIONES

1. El rendimiento en promedio de la extracción de aceite de café disponible a partir de los posos, resultante de la fabricación de bebida caliente tipo espresso, fue en promedio de $99.47 \pm 0.01\%$ comparado con la literatura citada en donde se utilizaba café verde. El porcentaje de aceite obtenido en peso fue de $15.58 \pm 0.01\%$.
2. Mediante cromatografía de gases fue posible determinar que los ácidos grasos presentes en el aceite de café proveniente de la máquina de espresso de Starbucks son: linoleico, oleico, linolenico, palmítico, esteárico y araquídico.
3. Se estableció un procedimiento para la extracción de aceite proveniente del poso de café resultante de la fabricación de bebida caliente tipo espresso. Sin embargo, no fue posible la producción de biodiésel a escala laboratorio a partir del aceite obtenido debido a que la metodología establecida no permitió que la reacción de transesterificación se completará ya que aún se desconocen propiedades del aceite que pudieron haber intervenido.
4. El costo total para la obtención de aceite de café residual tipo espresso por medio de 15 extracciones y 5 destilaciones fue de Q.556.74 en donde el mayor costo lo represento el hexano utilizado. Para las pruebas para la producción de biodiésel se tiene un costo de Q.1.64.
5. La extracción de aceite de café por métodos mecánicos no pudo ser completada debido a que no se encontró una ruta para manipular el tamaño de partícula del café residual tipo espresso en la prensa hidráulica ni en el expeller utilizado. Sin embargo, fue posible establecer un punto de partida para investigaciones en este tema y profundizar en características y problemas que presenta el café residual tipo espresso.
6. La metodología para las pruebas de extracción de aceite utilizando la prensa hidráulica (en triplicado) tuvo un costo total de Q. 334.82.
7. Al comparar los costos obtenidos por la extracción por métodos mecánicos con los obtenidos a escala laboratorio, se tiene que, a pesar que este último presenta resultados más favorables, el método mecánico podría representar un gran manejo de volumen de materia prima y, por lo tanto, es importante seguir profundizando en el establecimiento de una metodología para el mismo.

IX. RECOMENDACIONES

- Al momento de recolectar la muestra de café residual tipo espresso no dejar que pase más de 7 días almacenada sin secar para evitar que este se empiece a llenar de moho. Así mismo, almacenar el café ya seco con un máximo de 30 días y estar controlando que la humedad del mismo no exceda 15%.
- Secar el café a 110°C para poder almacenar por más tiempo el café y retrasar el deterioro del mismo.
- Realizar las extracciones con el Soxhlet en donde el solvente este en contacto con la muestra un mínimo de 2 horas, además, al momento de terminar de destilar, someter a calentamiento el aceite a 100°C por 10 minutos para asegurar evaporación tanto del hexano restante como del agua que podría encontrarse en el mismo. Así mismo, se recomienda almacenar el aceite en un recipiente cerrado y a temperatura ambiente.
- Para la reacción para producción de biodiésel a partir de aceite de café, se recomienda no trabajar con muestras mayores a 10mL de aceite de poso de café proveniente de la fabricación de bebida caliente tipo espresso, esto debido a la cantidad de extracciones que representa, así como el aumento de tiempo y muestras invertidas. Además esto representa un aumento significativo en el costo total del proceso.
- Realizar pruebas de extracción a escala laboratorio con etanol, éter de petróleo e isohexano para reducir los costos de extracción y comparar los rendimientos obtenidos con los encontrados en este trabajo. Así mismo, con el producto obtenido de las extracciones mecánicas, también se recomienda realizar este tipo de pruebas teniendo a favor muestras de mayor tamaño para el análisis.
- Modificar la criba del expeller para reducir el tamaño de partícula que se puede manejar y permitir el trabajo con el poso de café molido de percoladora para realizar nuevas pruebas en este equipo.
- Analizar cromatografía de gases para encontrar algún otro componente que pueda interferir al momento de realizar la reacción de transesterificación para la producción de biodiésel. Además, tomar en cuenta si una catálisis ácida produciría un mejor resultado.
- Investigar sobre las gomas presentes en el aceite de café y establecer una ruta previa a las extracciones que permita el tratamiento de las mismas.

X. BIBLIOGRAFÍA

1. Alves, R. 2010. *Antiradical activity, phenolics profile, and hydroxymethylfurfural in espresso coffee: Influence of technological factors*. United States. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 58 págs.
2. Belitz, H., W. Grosch y P. Schieberle. 2009. *Coffee, tea, cocoa*. 4ta ed. Ediciones H. D. Belitz, W. Grosch, y P. Schieberle. Food Chemistry. Pp. 938-951. Leipzig: Springer.
3. Borelli, R., F. Esposito., A. Napolitano., A. Ritieni y V. Fogliano. 2004. *Characterization of a new potential functional ingredient: coffee silverskin*. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 52. United States. 1343 págs.
4. Caetano, N. *et al.* 2012. *Valorization of Coffee Grounds for Biodiesel production*. Chemical engineering transactions. Portugal. The Italian Association of Chemical Engineering. 6 págs.
5. Calle V. 1977. *Subproductos del café*. Federación Nacional de cafeteros. Centro Nacional de Investigaciones de café. Colombia. Cenicafe. 506 págs
6. Clarke, R. 2001. *Coffee recent developments*. Inglaterra: Blackwell Science. 257 págs.
7. Clarke, R. y R. Macrae. 1985. *Coffee: Volume 1*. England: London. Elsevier applied science publishers. 306 págs.
8. Clinton, W. 1985. *The Chemistry of Coffee*. COLLOQUE Scientifique International sur le Café. París. 696 págs.
9. Comité Français du café. 1997. *Café —a la découverte du café*. Adexquiation Publicite. France, Paris.
10. *Composición química de una taza de café*. 2011. Programa de Investigación Científica fondo Nacional del Café. Colombia. Cenicafe. 12 págs.
11. Cruz, G. 1983. *Residuos de cultura e industria*. Informe agropecuario, 9. Págs 32-37.
12. Djerassi, C.; M. Casi y L. Mitscher. 1959. *The structure of the Pentacyclic Diterpene Cafestol*. Journal of American Chemical Society. 2398 págs.
13. Farfán, F. 2008. *Sistema de producción de café en Colombia: Cafés especiales*. Capítulo 10. Colombia. Cenicafé. 22 págs.
14. Folstar, P, *et al.* 1975. *The composition of fatty acids in coffee oil and wax*. Lebensm. Technol.

15. Folster, P. *et al.* 1977. *Tocopherols in the unsaponifiable matter of coffee vean oil.* Journal of agricultural Food Chemistry. 285 págs.
16. Franca, A., L. Oliveira, R. Oliveira, P. Agresti y R. Augusti. 2009. *A preliminary evaluation of the effect of processing temperatura on coffee roasting degree assessment.* Journal of Food Engineering, 92. Págs 345-352.
17. Fuertes, V. (Mayo de 2005). *Forum del café.* Obtenido de Control de la máquina de café espresso: http://www.forumdelcafe.com/pdf/F-44_Control_maquina_espresso.pdf
18. Fukushima, Y. 2009. *Coffee and green tea as a large source of antioxidant polyphenols in the Japanese population.* United States. Journal of Agricultural and Food Chemistry 2009. 57 págs.
19. Gil, A. 2010. *Tratado de nutrición: Tomo II Composición y calidad nutritiva de los Alimentos.* 2ª ed. Madrid: MédicaPanamericana, D.L. 786 págs.
20. Haworth, R. y R. Johnstone. 1957. *Cafestol.* Part II. London. Journal of American chemistry Society. 1496 págs.
21. Illy, A. 2005. En *Espresso coffe.* San Diego, California: ELSEVIER ACADEMIC PRESS. 385 págs.
22. Kaufmann H. y A. Sen Gupta. 1964. *Über die Lipoide der Kaffeebohne.* Fette Seifen Anstrichmittel. 466 págs.
23. Kondamudi, N., S. Mohapatra y M. Misra. 2008. *Spent Coffee Grounds as a Versatile Source of Green Energy Chemical and Materials Engineering.* University of Nevada, 1664 North Virginia MS 388. Reno, Nevada 89557. 11757-11760
24. Leifa, F., A. Pandey y C. Soccol. 2001. *Production of Flammulina velutipes on coffee husk and coffee spent-ground.* Brazilian Archives of Biology and Technology, 44. Págs 205-212.
25. Machado, E. 2009. *Reaproveitamento de resíduos da indústria do café como matéria-prima para a produção de etanol.* MSc thesis, Department of Biological Engineering, University of Minho, Braga, Portugal.
26. Maiser, H. G. 1981. *Kaffee.* Paul Parey. Hamburg. Pág 21.
27. Mussatto, S., M. Ercílica, S. Martins y A. Teixeira. 2011. *Production, composition, and aplication of coffee and its industrial residues.* Food Bioprocess Technol. Springer Science+Bussiness Media, LLC. 672 págs.

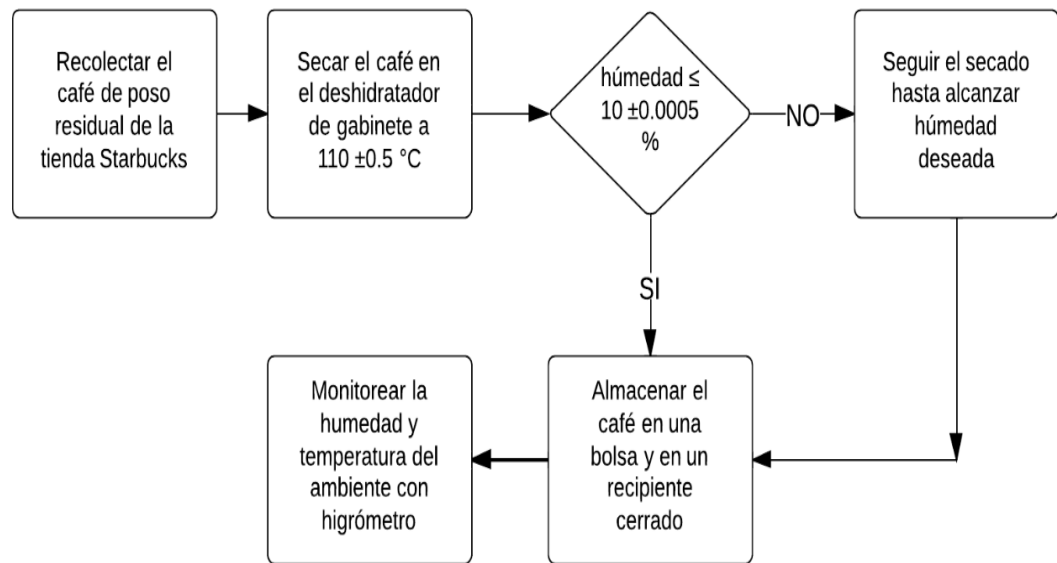
28. Oliveira, L. 2007. *Coffee oil as a potential feedstock for biodiesel production*. United States Biogreen. 12 págs.
29. Pahl, G. 2008. *Biodiesel: Growing a new energy economy*. 2ª ed. United States of America. Chelsea Green Publishing Company. 370 págs.
30. Pfluger, R. 1975. *Solid wastes: origin, collection, processing, and disposal*. Soluble coffee processing. In C. L. Mantell edition. New York: Wiley.
31. Ramalakshmi, K., J. Rao, Y. Takano-Ishikawa y M. Goto. 2009. *Bioactivities of low-grade green coffee and spent coffee in different in vitro model systems*. Food Chemistry, 115. United States. Págs. 79-85.
32. Ramírez, L. 2008. <<Evaluación del rendimiento de extracción y caracterización del aceite fijo de café tostado tipo genuino antigua obtenido por el proceso de prensado>>. Tesis Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala, Guatemala. 163 págs.
33. Schuette, H.; A. Milford A. y Y. Chang. 1934. *The characteristics and composition of coffee bean oil*. Contribution from the laboratory of foods and sanitation, University of Wisconsin. Wisconsin. Journal of American Chemical Society. 2086 págs.
34. Silva, M., S. Nebra, M. Machado y C. Sanchez. 1998. *The use of biomass residues in the Brazilian soluble coffee industry*. Biomass and Bioenergy, 14. Págs 457-567.
35. Sivetz, M. 1989. "Coffee Quality". *Coffee consultant manufacturer of roasting machinery*. Science in Chemical Engineering. Unites States. 300 págs.
36. Ukers, W. 1992. *All about coffee*. The tea and coffee trade journal company. Ney York. 824 págs.
37. Uribe, M. 2010. <<Simulación de una planta piloto para la producción de biodiesel en el laboratorio de operaciones unitarias de la ESIQIE>> Tesis Instituto Politécnico Nacional, Escuela Superior de Ingeniería Química e Industrias Extractivas. México D.F. 79 págs.
38. Wagner, R. 2001. *Historia del café de Guatemala*. 1era ed. Bogotá, Colombia. 216 págs.
39. Wajda, P. y D. Walczyk. 1978. *Relationship between acid value of extracted fatty matter and age of green coffee beans*. J. Sci. Food Agric.Poland. 380 págs.

40. Xie, Y. 2008. *Coffee grounds for biodiesel*. Journal of Agricultural and Food Chemistry. United States. 1021 págs.

XI. APÉNDICE

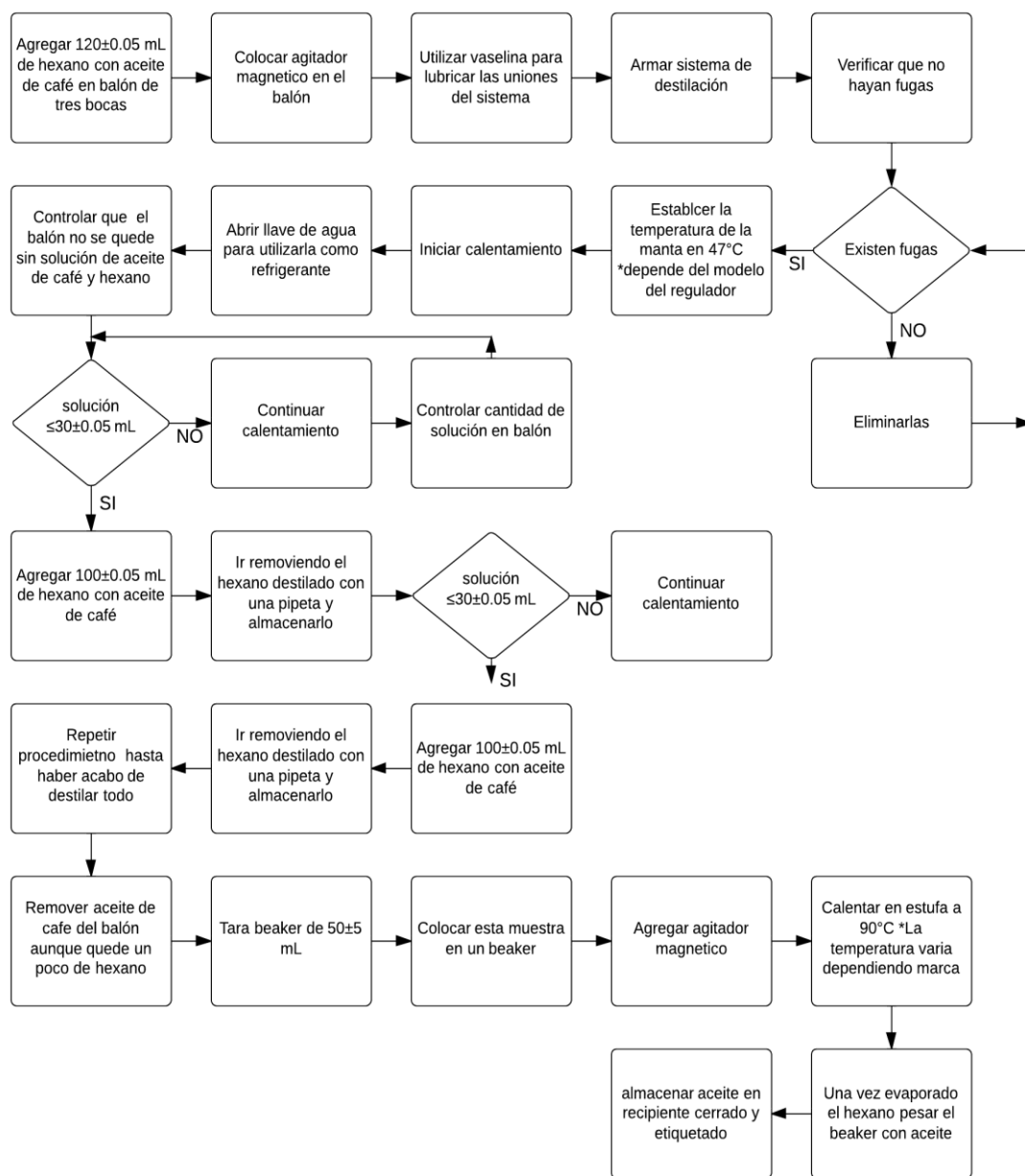
A. Procedimiento

Figura 24. Procedimiento establecido para secado de poso de café residual tipo espresso



Fuente: Elaboración propia

Figura 251. Procedimiento establecido para la destilación de aceite de café del hexano



Fuente: Elaboración propia.

B. Datos de placa de los equipos utilizados

1. Equipo utilizado para el secado del café residual tipo espresso

Tabla 30. Datos de deshidratador de gabinete

Deshidratador de gabinete	
Marca	Corbett Industries Inc.
Modelo	EC-404-6
No. Serie	12805
Voltaje	220/3/60
Corriente máxima	120.2 A
Capacidad de extractor	225 CFM
Motor	1.0 hp

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 31. Datos de balanza digital

Balanza field test scale	
Marca	OHAUS
Modelo	2400
Rango	0 a 36 lb
Incertidumbre	± 0.01 lb

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 32. Datos de balanza analítica digital

Balanza digital analítica	
Marca	OHAUS
Serie	3000
Modelo	T32MC

Continuación Tabla 32. Datos de balanza analítica digital

Rango	5 a 20,000kg
Incertidumbre	2%

Continuación Tabla 32. Datos de balanza analítica digital

Tiempo de estabilización	2 segundos
Temperatura de operación	-10 a 40°C
Dimensiones	198x46x132mm

Fuente: Elaboración propia.

2. Equipo utilizado para tamizaje del café residual tipo espresso

Tabla 33. Datos tamizador

Tamizador	
Marca	W.S Tyler
Modelo	RX-29
No. Serie	19183
Catálogo No.	3851 - 0
Tipo	ROTAP

Fuente: Elaboración propia

3. Cristalería y reactivos utilizados para la extracción de aceite del café residual tipo espresso

Tabla 34. Especificación de hexano utilizado para extracción de aceite de café

n-Hexano (C ₆ H ₁₄)	
Pureza (%)	99
Grado	Analítico
Masa molar (g/mol)	86.18
Marca	Merck

Fuente: Elaboración propia

Tabla 35. Especificaciones de la cristalería utilizada para la extracción de aceite de café

Nombre	Especificación	Marca
Balon esférico	Fondo plano, 1 boca, 250 mL, Superior 45/50, inferior	Pyrex
Cuerpo extractor Soxhlet	24/20	Pyrex
Cartucho Soxhlet	Papel filtro	
Condensador	250 mL, 45/50	Pyrex

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 36. Especificaciones equipo auxiliar necesario para extracción de aceite de café

Nombre	Especificaciones
Manta de calentamiento	250 mL, 110V
Estufa con agitador magnético	30x30 cm, 50/60 Hz
Dos mangueras	
Soporte largo con aro	
Pinzas	

Fuente: Elaboración propia.

4. Cristalería y equipo necesario para destilación y obtención del aceite de café residual tipo espresso

Tabla 37. Cristalería necesaria para destilación de aceite de café

Nombre	Especificación	Marca
Tapón de vidrio	De boro silicato	
Termómetro	$\pm 0.5^{\circ}\text{C}$, rango -20 a 150°C , de mercurio	Taylor
Adaptador para termómetro	Contiene rosca Schott	Pyrex
Condensador	De vidrio borosilicato, 250-500 mm	Pyrex
Balón fondo plano	3 bocas, 250 mL	Pyrex
Pipeta	10 ± 0.5 mL	Pyrex
Bulbo para pipeta		
Beaker	50 ± 5 mL	Pyrex

Fuente: Elaboración propia.

5. Reactivos utilizados para la determinación del número ácido del aceite

Tabla 18. Especificaciones del tolueno utilizado para la determinación del número ácido

Tolueno (C ₇ H ₈)	
Pureza (%)	99
Grado	Analítico
Masa molar (g/mol)	92.14
Marca	Merck

Fuente: Merck, 2008

Tabla 39. Especificaciones del alcohol isopropílico anhídrido utilizado para determinación de número ácido

Alcohol isopropílico anhídrido (CH ₃ CHOHCH ₃)	
Pureza (%)	99
Grado	Analítico
Masa molar (g/mol)	60.1
Marca	Merck

Fuente: Merck, 2008

Tabla 20. Especificaciones del hidróxido de potasio utilizado para la titulación y determinación del número ácido

Hidroxido de potasio (KOH)	
Pureza (%)	99
Grado	Analítico
Masa molar (g/mol)	56.11
Marca	Merck

Fuente: Merck, 2000

Tabla 41. Especificaciones del ácido clorhídrico utilizado para determinación del número ácido

Ácido clorhídrico (HCl)	
Pureza (%)	40
Grado	Industrial
Masa molar (g/mol)	36.46
Marca	Quirsa

Fuente: Quirsa, 2013

Tabla 42. Cristalería utilizada para la determinación del número ácido

Nombre	Especificación	Marca
Beaker	250±25 mL	Pyrex
Bureta	30±0.025 mL	Pyrex

Fuente: Elaboración propia.

6. Reactivos y soluciones preparadas para la determinación de ácidos grasos del aceite de café

Tabla 43. Especificación de reactivo utilizado para la determinación de ácidos grasos en el aceite de café

Trifloruro de boro (BF ₃)	
Pureza (%)	99
Grado	Analítico
Masa molar (g/mol)	67.82
Marca	Merck

Fuente: Merck, 2012

Tabla 44. Especificaciones de potenciómetro utilizado para la determinación del número ácido

pH	Marca	Fisher Scientific™ accumet™
	Modelo	AB15+
	Resolución	0.1/0.01/0.001pH
	Rango	-1.999 a + 19.999pH
	Incertidumbre	±0.002 pH
mV	Resolución	0.1 mV
	Rango	0 a ±1800 mV
	Incertidumbre	±0.2mV
Temperatura	Resolución	0.1°C
	Rango	-5.0°C a +105.0°C (23 a221°F)
	Incertidumbre	±0.2°C

Fuente: Fisher Scientific, 2013

Tabla 45. Especificaciones del hidróxido de sodio utilizado para la determinación de ácidos grasos

Hidróxido de sodio (NaOH)	
Pureza (%)	99
Grado	Analítico
Masa molar (g/mol)	39.99
Marca	Merck

Fuente: Merck, 2012

Tabla 46. Especificaciones del metanol utilizado para la determinación de ácidos grasos

Metanol (CH ₄ O)	
Pureza (%)	40
Grado	Industrial
Masa molar (g/mol)	32.04
Marca	Quirsa

Fuente: Quirsa, 2012

Tabla 47. Soluciones preparadas para realizar cromatografía de gases

Soluciones	Cantidad
0.5 N de NaOH disuelto en metanol	50 mL
Trifloruro de boro al 20% en metanol	50 mL
Solución saturada de cloruro de sodio en agua	150 mL
BF ₃ en metanol al 20%	3 mL

Fuente: Elaboración propia

Tabla 43. Equipo y cristalería utilizados para cromatografía de gases

Equipo	Especificación	Marca
Balones	25 mL	Pyrex
Estufa	--	
Pipeta	5 ±0.5mL	Pyrex
Pipeta	1±0.05 mL	Pyrex

Fuente: Elaboración propia

Tabla 49. Descripción del equipo utilizado, Cromatógrafo de Gases de Alta Resolución con Software HP ChemStation

Cromatógrafo de Gases	
Columna SPB-5	30m x 0.53mm di X 1 microm
Nitrógeno	43 psi con split 94:1, acarreador 2.4 ml/min, 2 psi in col
Inyector	245°C, Detector FID
Ionización de Llama	260 °C (H ₂ 13 psi, Aire 36 psi)
Horno	100°C, 10°C/min hasta 250°C, 10 min
Sistema cromatográfico HP 5890II/ChemStation	

Fuente: ChemStation, 2012

7. Especificación de equipo y cristalería utilizada para producción de biodiésel

Tabla 50. Equipo y cristalería para realizar pruebas a escala laboratorio para la producción de biodiesel

Equipo y cristalería	Especificación
Estufa	30x30 cm, 50/60 Hz
Tubo de ensayo con tapadera	De borosilicato
Beaker	250±25 mL (Pyrex)
Varilla de agitación	--
Agitador magnético soporte largo	--

Fuente: Elaboración propia

8. Especificación de equipo utilizado para extracción de aceite por métodos mecánicos

Tabla 51. Datos de placa de prensa hidráulica

Prensa hidráulica	
Marca	Carver
Modelo	Bulletin 12
No. Serie	1912 - 2012
Catálogo No.	3851 - 0
Capacidad	25 ton

Fuente: Carver, 2013

Tabla 52. Datos de placa del higrómetro – termómetro

Higrómetro-Termómetro	
Marca	EXTECH Instruments
Modelo	IR
No. Serie	RH101
Humedad	Rango: 10% a 95% $\pm 3.5\%$
Temperatura de aire	Rango: -20°C a $60^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$

Fuente: Extech instruments, 2013

Tabla 53. Condiciones de operación de vapor vivo utilizado para la extracción mecánica con la prensa hidráulica

Vapor vivo proveniente de la caldera localizada en el Laboratorio de Operaciones Unitarias de Universidad del Valle de Guatemala	
Temperatura	78°C
Presión	43,230.13 Pa

Fuente: Elaboración propia

C. Datos intermedios

Tabla 54. Costo estimado para el café residual tipo espresso utilizado (16,140±0.5 g)

	Costo (Q)	Precio del café residual tipo espresso (basado en costos para desecharlo)
Costo bolsas de basura	1.55	Caja de Bolsas canguro Q.15.49 (10 unidades), una bolsa tenía la capacidad para 16,140±0.5 g de café residual tipo espresso
Costo bolsa para compost	6	Precio por unidad según Cataplast En cada bolsa caben aproximadamente 400 gramos entonces se tiene que el costo en bolsas para desechar 16,140±0.5 g de café residual es $(16,140 \pm 0.5 \text{ g} / 400 \text{ g}) = 40$ bolsas para compost
Costo de bolsas para compost para 16140±0.5 g	240	Cantidad de bolsas x Precio unitario de bolsas para compost
Costo total para desechar 16140±0.5 g de café residual tipo espresso	241.55	Se asumió que todo el café era utilizado para compost, además, se tomó este costo como el precio del café residual tipo espresso

Fuente: Elaboración propia

Tabla 55. Cantidad de peso de café secado y tasa de secado en el deshidratador de gabinete del Laboratorio de operaciones Unitarios durante 8 horas (480 min) para las primeras tres muestras de café recolectado de *Staburcks*

Bandeja	Peso (± 0.0005 g)	Peso final (± 0.0005 g)	Tasa de secado (g H ₂ O/min)
1	2460	1400	2.208
2	2200	1740	0.958
3	2240	1480	1.583
4	2320	1420	1.875
5	2100	1520	1.208
6	2680	1800	1.833
Total	14000	9360	
1	2020	1320	1.458
2	2670	1400	2.646
3	1480	1100	0.792
4	2040	1510	1.104
5	2020	1500	1.083
6	1900	900	2.083
Total	12130	7730	
1	2600	1500	2.292
2	2040	1300	1.542
3	2560	1450	2.313
4	2450	1200	2.604
5	2390	1550	1.750
6	2100	110	4.146
Total	14140	7110	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 56. Granulometría de 250.000 \pm 0.001 g de café residual tipo espresso de Starbucks para las primeras tres corridas previas a realizarles extracción de aceite de café

		Dpi (mm)		Muestra tamizada (\pm 0.001g)	Xi	Xi acum	1-Xi acum
		Mesh (μ m)	EUA (US sieve size)				
Prueba 1	No. 20	850	0.840	1.8	0.01	0.00	1.00
	No.30	600	0.595	11.7	0.05	0.05	0.95
	No. 45	355	0.354	167.6	0.69	0.74	0.26
	No. 60	250	0.250	35.00	0.15	0.89	0.11
	No. 80	180	0.180	7.20	0.03	0.92	0.08
	No. 100	150	0.149	13.70	0.06	0.98	0.02
	último plato			0.000	4.20	0.02	0.99
Prueba 2	No. 20	850	0.840	9.2	0.03	0.00	1.00
	No.30	600	0.595	20.9	0.07	0.07	0.93
	No. 45	355	0.354	153.4	0.52	0.59	0.41
	No. 60	250	0.250	36.30	0.12	0.71	0.29
	No. 80	180	0.180	60.70	0.20	0.91	0.09
	No. 100	150	0.149	15.90	0.05	0.96	0.04
	último plato			0.000	1.40	0.00	0.97
Prueba 3	No. 20	850	0.840	3.3	0.01	0.00	1.00
	No.30	600	0.595	16	0.06	0.06	0.94
	No. 45	355	0.354	153.4	0.54	0.59	0.41
	No. 60	250	0.250	39.90	0.14	0.73	0.27
	No. 80	180	0.180	61.30	0.21	0.95	0.05
	No. 100	150	0.149	11.30	0.04	0.98	0.02
	último plato			0.000	1.10	0.00	0.99

Fuente: Elaboración propia

Tabla 57. Granulometría de 200.000 \pm 0.001 g de café residual de percoladora de *Starbucks*

		Dpi		Muestra tamizada (\pm 0.001g)	Xi	Xi acum	1-Xi acum
		Mesh (μ m)	(mm)según los tamices en EUA (US sieve size)				
Prueba 1	No. 20	850	0.840	120	0.61	0.61	0.39
	No.30	600	0.595	54.2	0.28	0.88	0.12
	No. 45	355	0.354	17.8	0.09	0.98	0.02
	No. 60	250	0.250	2.30	0.01	0.99	0.01
	No. 80	180	0.180	1.80	0.01	1.00	0.00
	No. 100	150	0.149	0.60	0.00	1.00	0.00
	último plato		0.000	0.20	0.00	1.00	0.00
Prueba 2	No. 20	850	0.840	151.5	0.78	0.78	0.22
	No.30	600	0.595	28.8	0.15	0.93	0.07
	No. 45	355	0.354	9.3	0.05	0.97	0.03
	No. 60	250	0.250	3.30	0.02	0.99	0.01
	No. 80	180	0.180	1.40	0.01	1.00	0.00
	No. 100	150	0.149	0.20	0.00	1.00	0.00
	último plato		0.000	0.10	0.00	1.00	0.00
Prueba 3	No. 20	850	0.840	126.1	0.66	0.66	0.34
	No.30	600	0.595	43.1	0.23	0.89	0.11
	No. 45	355	0.354	12.6	0.07	0.95	0.05
	No. 60	250	0.250	4.30	0.02	0.98	0.02
	No. 80	180	0.180	3.90	0.02	1.00	0.00
	No. 100	150	0.149	0.30	0.00	1.00	0.00
	último plato		0.000	0.10	0.00	1.00	0.00

Fuente: Elaboración propia

Tabla 58. Porcentaje de aceite obtenido del triplicado de las extracciones y destilaciones de café residual proveniente de la percoladora utilizando el método b y c en la sección de metodología, realizado en el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala

Muestra 10 ±0.0001 g		Porcentaje de aceite obtenido (m/m) ±0.01%	Observaciones
Café proveniente de percoladora	12.7	11.8	En comparación al aceite de café residual proveniente de la máquina de espresso, este posee un color amarillo más intenso, la densidad promedio fue de 0.633 g/mL
	12.5		
Promedio de extracciones realizadas	12.3		

Fuente: Elaboración propia

Tabla 59. Costo para el secado de café residual tipo espresso utilizando el deshidratador de gabinete localizado en la en Laboratorio de Operaciones Unitarias en la Universidad del Valle de Guatemala

		Dimensionales		
Secado del café	Energía eléctrica utilizada	53	kWh	Leída en contador eléctrico al inicio y final del secado y luego se obtuvo la diferencia (2508 kWh- 2561 kWh = 53 kWh)
	Costo de energía eléctrica	1.82	Q/kWh	Según la CNEE-05-201
	Costo de energía total utilizada por batch de café residual (16,140±0.5 g)	96.87	Q.	Energía eléctrica(kWh) x Costo de energía eléctrica (Q/kWh)

Fuente: Elaboración propia

Tabla 60. Porcentaje de aceite obtenido de 15 extracciones realizadas en el Laboratorio de operaciones Unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala

Cantidad de extracciones realizadas con metodología descrita	Porcentaje de aceite obtenido (m/m) ± 0.01 %
1	16.6
2	16.3
3	16.0
4	15.1
5	14.3
6	15.8
7	15.5
8	14.2
9	15.1
10	16.3
11	15.8
12	16.5
13	14.8
14	15.2
15	16.2
Promedio de 15 extracciones realizadas	15.58
Desviación estándar	0.745

Fuente: Elaboración propia

Tabla 61. Comparación del hexano con otros disolventes

Disolvente	Costo (Q/L) Según Fisher scientific	Recuperación del disolvente (%)	Porcentaje de aceite obtenido (%)
Hexano	176.8	66	15
Eter de petróleo	126	58	16
Isopropanol	165	68	21
Etanol	115	57	12

Fuente: Caetano *et al.* 2012

Tabla 62. Clasificación NFPA 704 (National Fire Protection Agency) para los distintos disolventes

Disolvente	Riesgo a la salud (0-4)	Peligrosidad	
		Inflamabilidad (0-4)	Reactividad (0-4)
Hexano	1	3	0
Eter de petróleo	1	4	0
Isopropanol	1	3	0
Etanol	2	3	0

Fuente: National Fire Protection Agency, 2013

Tabla 63. Contenido de ácidos en granos de café según la especie en base seca

	Arábica (%)	Robusta (%)
Contenido de ácidos grasos	17	11

Fuente: Maier, 1991

Tabla 64. Niveles de tostado de los distintos cafés de *Starbucks*

	Características	Clasificación según origen	Región de cultivo
Tostado suave	También denominado cafés blonde, presentan un proceso de tueste de menor tiempo	Willow blend	Latinoamérica y África oriental
		Veranda blend	Latinoamérica
		House blend	Latinoamérica
Tostado medio	Tueste regular	Guatemala Antigua	Latinoamérica
		Kenya	África/Arabia
		Colombia Nariño	Latinoamérica
		Supremo	Latinoamérica
Tostado Dark	Cuerpo más intenso y robusto debido a la intensidad de su tostado	Pike place roast	Latinoamérica
		Sumatra	Asia/Pacífico
		Espresso Roast	Mezcla multiregional
		Caffé verona	Latinoamérica e Indonesia
		Italian Roast	Mezcla multiregional

Fuente: Elaboración propia.

XII. ANEXOS

Figura 26. Posición de bandejas para secado de café residual en el deshidratador de gabinete marca Corbett Industries Inc., localizado en el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 27. Contenedor en donde se almacenaba el café residual después del secado (este incluía tapadera) localizado en el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala



Fuente: Elaboración propia.

Figura 28. Tamizaje del café residual secado utilizando realizado en el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala por medio de tamizador marca W.S. Tyler



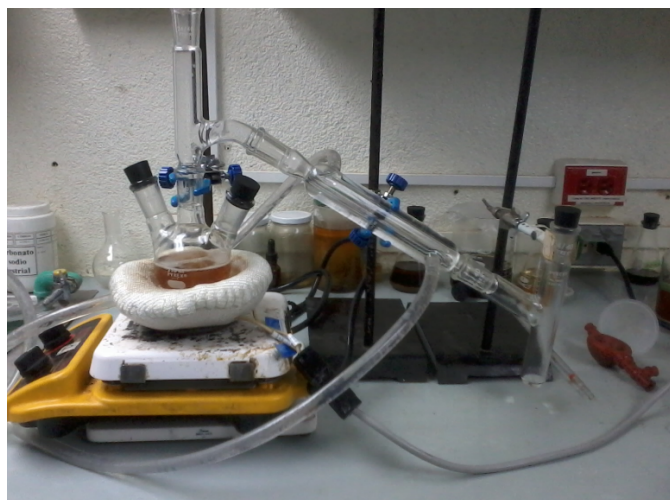
Fuente: Elaboración propia

Figura 29. Extracción Soxhlet realizada en el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala con cristalería marca Pyrex



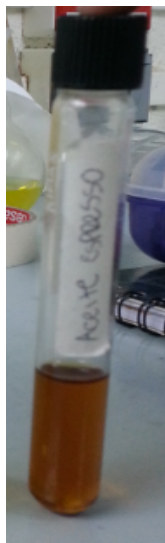
Fuente: Elaboración propia

Figura 30. Destilación realizada en el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala con cristalería marca Pyrex



Fuente: Elaboración propia

Figura 31. Aceite de café obtenido después de la extracción y destilación realizadas en el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala con cristalería marca Pyrex



Fuente: Elaboración propia

Figura 32. Extracción mecánica con prensa hidráulica marca Carver realizada en el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala



Fuente: Elaboración propia

Figura 33. Reacción para producción de biodiésel a escala laboratorio realizada en el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala



Fuente: Elaboración propia

Figura 34. Separación de fases después de reacción de transesterificación realizado en el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala



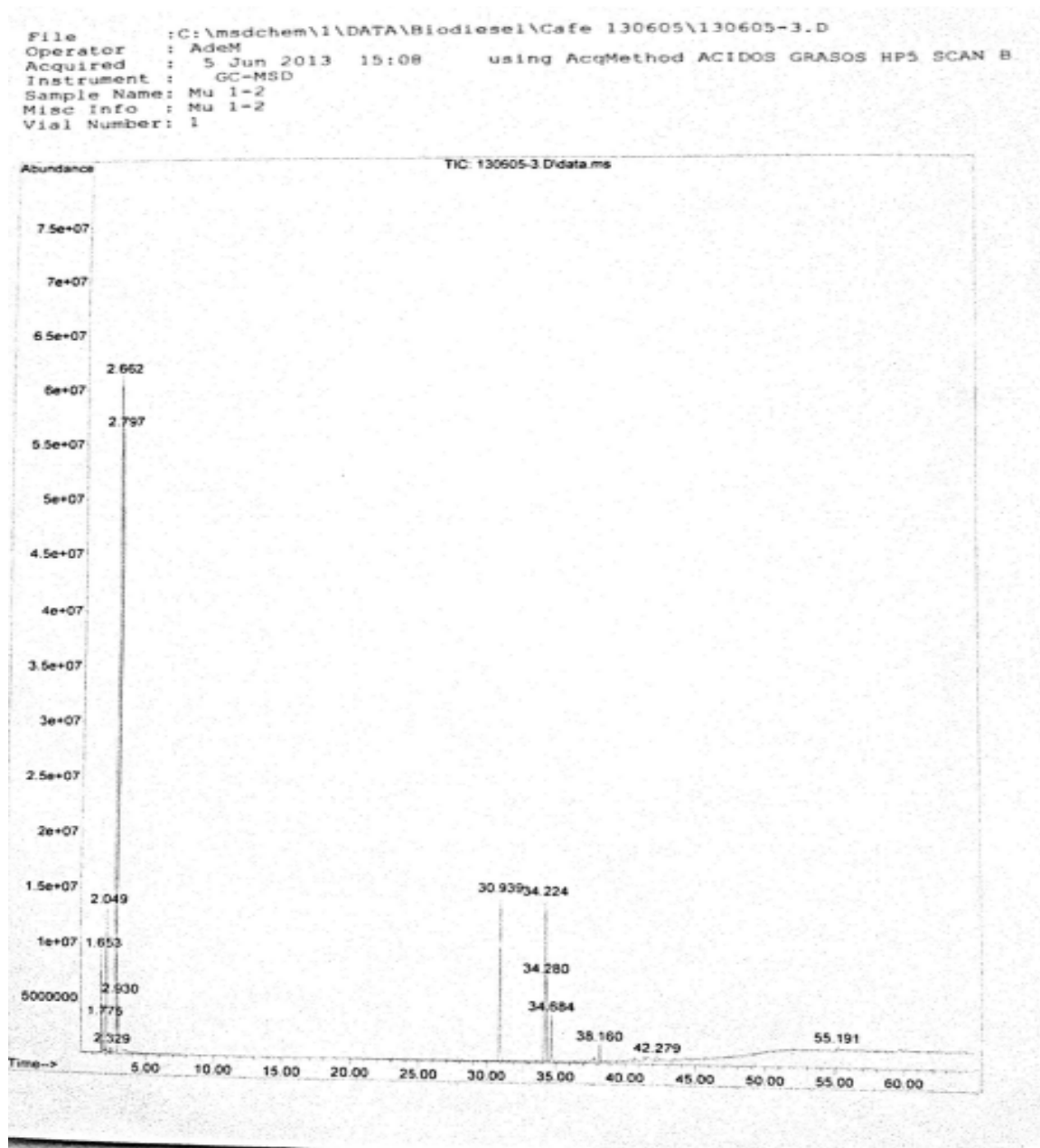
Fuente: Elaboración propia

Figura 35. Muestras para analizar en cromatografía de gases siguiendo metodología establecida y realizado en la Universidad del Valle de Guatemala en el laboratorio de Análisis Instrumental Avanzado



Fuente: Elaboración propia

Figura 36. Cromatografía de gases 1 realizado por el cromatógrafo de gases HP 5890II/ChemStation localizado en el Laboratorio de Análisis Instrumental de la Universidad del Valle de Guatemala



Fuente: Elaboración propia

Figura 37. Cromatografía de gases, ácidos grasos presentes (1/2) realizado por el cromatógrafo de gases HP 589II/ChemStation localizado en el laboratorio de Análisis Instrumental Avanzado de la Universidad del Valle de Guatemala

LIQA Library Search Report

Data Path : C:\msdchem\1\DATA\Biodiesel\Cafe 130605\
 Data File : 130605-3.D
 Title :
 Acq On : 5 Jun 2013 15:08
 Operator : Adem
 Sample : Mu 1-2
 Misc : Mu 1-2
 ALS Vial : 1 Sample Multiplier: 1

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

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

PK#	RT	Area%	Library/ID	Ref#	CAS#	Qual
1	1.652	1.50	C:\Database\NIST05a.L Methyl Alcohol Methyl Alcohol Methyl Alcohol	29 31 30	000067-56-1	64 9 2
2	1.775	0.42	C:\Database\NIST05a.L Acetone Acetone Acetone	211 210 208	000067-64-1	87 86 86
3	2.048	2.12	C:\Database\NIST05a.L Hexane Hexane Hexane	1790 1791 1792	000110-54-3	94 93 91
4	2.330	0.15	C:\Database\NIST05a.L Propane, 2,2-dimethoxy- Propane, 2-methoxy-2-methyl- Propane, 2-methoxy-2-methyl-	4663 2098 2097	000077-76-9	40 38 23
5	2.662	59.97	C:\Database\NIST05a.L Heptane Heptane Heptane	3886 3887 3885	000142-82-5	93 76 68
6	2.798	8.53	C:\Database\NIST05a.L Heptane Heptane Heptane	3885 3887 3886	000142-82-5	90 83 72
7	2.930	2.65	C:\Database\NIST05a.L Cyclopentane, 1,2-dimethyl-, cis- Cyclopentane, 1,2-dimethyl-, cis- Cyclopentane, 1,3-dimethyl-	3337 3340 3325	001192-18-3	96 95 90
8	30.941	8.41	C:\Database\NIST05a.L Hexadecanoic acid, methyl ester Pentadecanoic acid, 14-methyl-, me thyl ester Hexadecanoic acid, methyl ester	105644 105662 105639	000112-39-0	97 96 96
9	34.225	10.00	C:\Database\NIST05a.L 9,12-Octadecadienoic acid (Z,Z)-, methyl ester 9,12-Octadecadienoic acid, methyl ester 8,11-Octadecadienoic acid, methyl ester	121105 121093 121095	000112-63-0	99 99 99
10	34.279	2.82	C:\Database\NIST05a.L 9-Octadecenoic acid (Z)-, methyl e ster 9-Octadecenoic acid (Z)-, methyl e ster	122321 122323	000112-62-9	99 99

ACEITES ESE...MCS SCAN 2.M Fri Jun 07 11:49:04 2013

Page: 1

Fuente: Elaboración propia

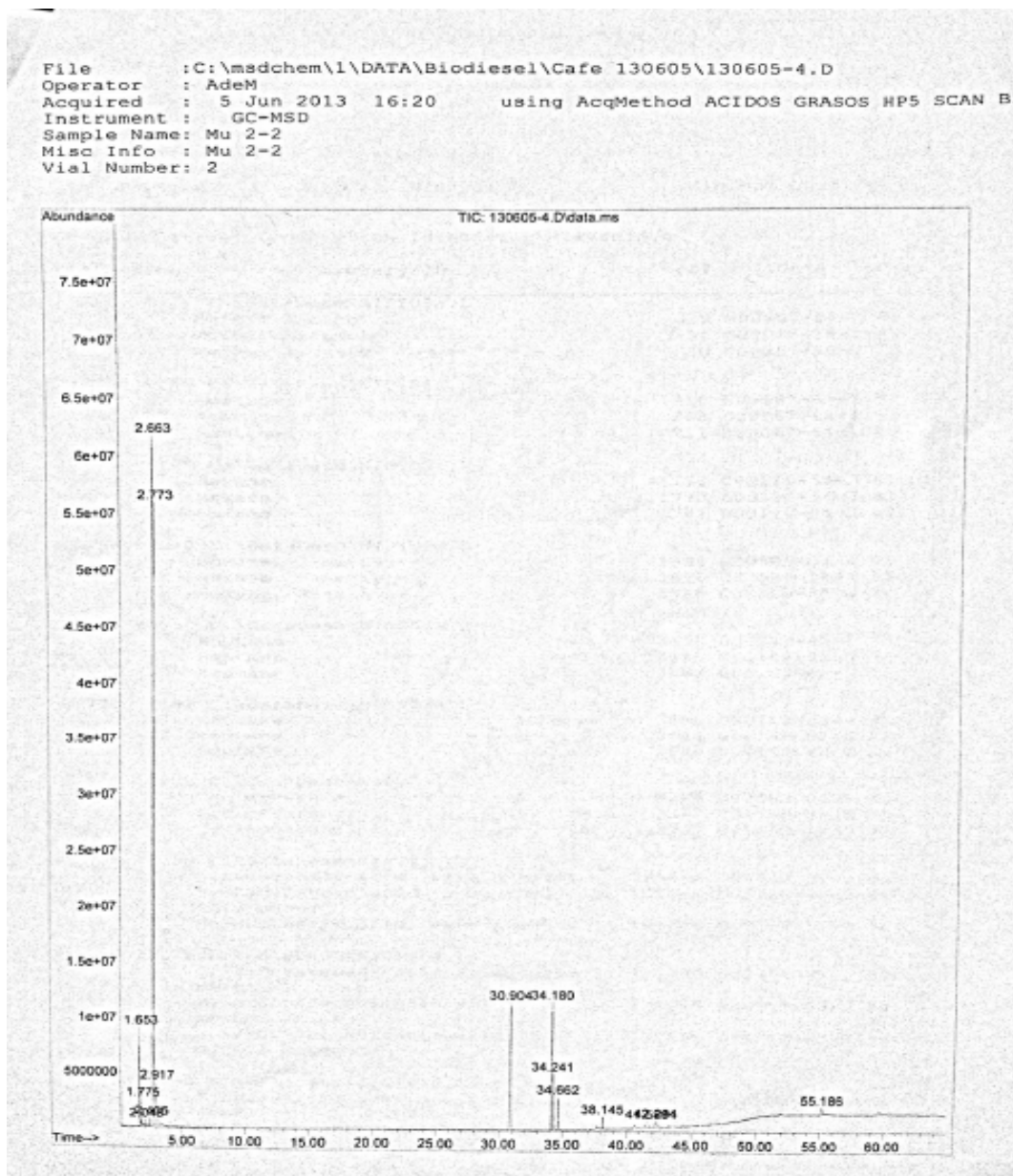
Figura 38. Cromatografía de gases, ácido grasos presentes (2/2) realizado por el cromatógrafo de gases HP 5890II/ChemStation localizado en el Laboratorio de Análisis Instrumental Avanzado de la Universidad del Valle de Guatemala

LIQA Library Search Report						
Data Path : C:\msdchem\1\DATA\Biodiesel\Cafe 130605\ Data File : 130605-3.D Title : Acq On : 5 Jun 2013 15:08 Operator : AdeM Sample : Mu 1-2 Misc : Mu 1-2 ALS Vial : 1 Sample Multiplier: 1						
Search Libraries: C:\Database\NIST05a.L Minimum Quality: 0						
Unknown Spectrum: Apex Integration Events: ChemStation Integrator - events.e						
PK#	RT	Area%	Library/ID	Ref#	CAS#	Qual
			8-Octadecenoic acid, methyl ester, (E)-	122325	026528-50-7	99
✓11	34.684	1.78	C:\Database\NIST05a.L Octadecanoic acid, methyl ester	123709	000112-61-8	99
			Octadecanoic acid, methyl ester	123700	000112-61-8	99
			Octadecanoic acid, methyl ester	123708	000112-61-8	98
✓12	38.159	0.66	C:\Database\NIST05a.L Eicosanoic acid, methyl ester	140312	001120-28-1	99
			Eicosanoic acid, methyl ester	140313	001120-28-1	99
			Eicosanoic acid, methyl ester	140314	001120-28-1	99
13	42.280	0.59	C:\Database\NIST05a.L (4Aalpha,18alpha)-1,2,3,4,4a,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,18a-hexadecahydro-5,8-ethenobenzocyclohexadecene	123825	069651-19-0	64
			Ferrocene, 1,1',2,2',3,3',4,4'-octamethyl-	123592	059568-28-4	56
			Pterocarpin	123381	000524-97-0	50
14	55.189	0.39	C:\Database\NIST05a.L 3-(O-Nitrophenyl)-2-oxo-1,3-oxazolidine	63388	090417 72-4	53
			Propyleneglycol monooleate	147870	1000132-46-8	45
			Oleic Acid	113355	000112-80-1	45

ACEITES ESE...MCS SCAN 2.M Fri Jun 07 11:49:04 2013 Page: 2

Fuente: Elaboración propia

Figura 39. Cromatografía de gases 2 realizado por el cromatógrafo de gases HP 5890II/ChemStation localizado en el laboratorio de Análisis Instrumental Avanzado de la Universidad del Valle de Guatemala.



Fuente: Elaboración propia

Figura 40. Cromatografía de gases 2, ácidos grasos presentes (1/2) realizado por el cromatógrafo de gases HP 5890II/ChemStation localizado en el laboratorio de Análisis Instrumental Avanzado de la Universidad del Valle de Guatemala.

LIQA Library Search Report						
Data Path : C:\msdchem\1\DATA\Biodiesel\Cafe 130605\ Data File : 130605-4.D Title : Acq On : 5 Jun 2013 16:20 Operator : Adem Sample : Mu 2-2 Misc : Mu 2-2 ALS Vial : 2 Sample Multiplier: 1						
Search Libraries: C:\Database\NIST05a.L Minimum Quality: 0						
Unknown Spectrum: Apex Integration Events: ChemStation Integrator - events.e						
PK#	RT	Area%	Library/ID	Ref#	CAS#	Qual
1	1.652	1.76	C:\Database\NIST05a.L Methyl Alcohol Methyl Alcohol Methyl Alcohol	29 31 30	000067-56-1 000067-56-1 000067-56-1	64 40 2
2	1.775	0.40	C:\Database\NIST05a.L Acetone Acetone Acetone	210 208 211	000067-64-1 000067-64-1 000067-64-1	86 86 86
3	2.048	0.09	C:\Database\NIST05a.L Hexane Hexane Hexane	1791 1790 1792	000110-54-3 000110-54-3 000110-54-3	81 81 62
4	2.466	0.42	C:\Database\NIST05a.L Hexane, 3-methyl- Hexane, 3-methyl- Hexane, 3-methyl-	3894 3891 3888	000589-34-4 000589-34-4 000589-34-4	95 95 94
5	2.662	63.50	C:\Database\NIST05a.L Heptane Heptane Heptane	3886 3885 3887	000142-82-5 000142-82-5 000142-82-5	93 76 76
6	2.771	9.81	C:\Database\NIST05a.L Heptane Heptane Heptane	3886 3884 3885	000142-82-5 000142-82-5 000142-82-5	93 91 81
7	2.916	2.32	C:\Database\NIST05a.L Cyclopentane, 1,3-dimethyl- Cyclopentane, 1,3-dimethyl-, trans Cyclopentane, 1,2-dimethyl-, cis-	3325 3347 3337	002453-00-1 001759-58-6 001192-18-3	95 93 93
✓8	30.904	6.80	C:\Database\NIST05a.L Hexadecanoic acid, methyl ester Pentadecanoic acid, 14-methyl-, me thyl ester Hexadecanoic acid, methyl ester	105644 105662 105639	000112-39-0 005129-60-2 000112-39-0	97 97 96
✓9	34.179	7.75	C:\Database\NIST05a.L 9,12-Octadecadienoic acid, methyl ester 9,12-Octadecadienoic acid (Z,Z)-, methyl ester 9,12-Octadecadienoic acid (Z,Z)-, methyl ester	121093 121105 121106	002462-85-3 000112-63-0 000112-63-0	99 99 99
✓10	34.243	2.46	C:\Database\NIST05a.L 9-Octadecenoic acid (Z)-, methyl e ster 9-Octadecenoic acid (Z)-, methyl e ster	122323 122321	000112-62-9 000112-62-9	99 99

ACEITES ESE...MCS SCAN 2.M Fri Jun 07 11:49:51 2013

Page: 1

Fuente: Elaboración propia

Figura 41. Cromatografía de gases, ácidos grasos presentes (2/2) realizado por el cromatógrafo de gases HP 5890II/ChemStation localizado en el laboratorio de Análisis Instrumental Avanzado de la Universidad del Valle de Guatemala.

```

      LIQA      Library Search Report

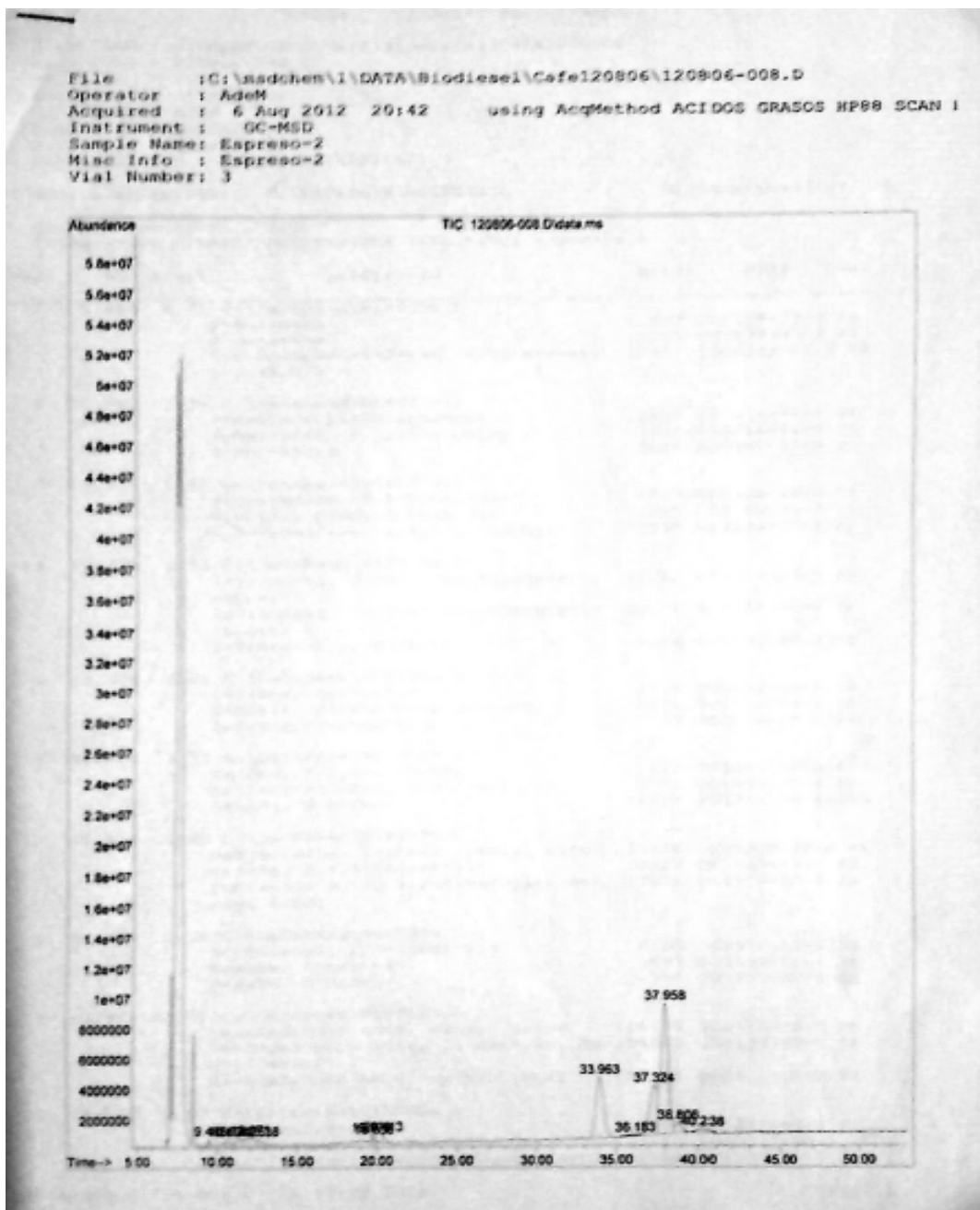
Data Path : C:\msdchem\1\DATA\Biodiesel\Cafe 130605\
Data File : 130605-4.D
Title      :
Acq On    : 5 Jun 2013 16:20
Operator  : AdeM
Sample    : Mu 2-2
Misc      : Mu 2-2
ALS Vial  : 2      Sample Multiplier: 1

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

```

k#	RT	Area%	Library/ID	Ref#	CAS#	Qual
			9-Octadecenoic acid, methyl ester	122299	002462-84-2	99
1	34.661	1.45	C:\Database\NIST05a.L			
			Octadecanoic acid, methyl ester	123709	000112-61-8	99
			Octadecanoic acid, methyl ester	123700	000112-61-8	99
			Octadecanoic acid, methyl ester	123708	000112-61-8	98
2	38.146	0.55	C:\Database\NIST05a.L			
			Eicosanoic acid, methyl ester	140312	001120-28-1	99
			Eicosanoic acid, methyl ester	140313	001120-28-1	99
			Eicosanoic acid, methyl ester	140314	001120-28-1	98
3	41.589	1.05	C:\Database\NIST05a.L			
			Benzene, 1-methyl-2-(1-methyl-2-pr	20857	097664-19-2	60
			openyl)-			
			1H-Indene, 2,3-dihydro-2,2-dimethyl	20820	020836-11-7	55
			Naphthalene, 1,2,3,4-tetrahydro-1-	20850	001559-81-5	53
			methyl-			
	42.262	0.51	C:\Database\NIST05a.L			
			Ferrocene, 1,1',2,2',3,3',4,4'-oct	123592	059568-28-4	64
			amethyl-			
			Pterocarpin	123381	000524-97-0	55
			Dibenzo[e,g]benzimidazole, 2-(2-fu	123741	141989-40-4	46
			ryl)-3-methyl-			
	42.289	0.44	C:\Database\NIST05a.L			
			Ferrocene, 1,1',2,2',3,3',4,4'-oct	123592	059568-28-4	55
			amethyl-			
			Pterocarpin	123381	000524-97-0	50
			Pregn-5-en-20-one, 3-(acetyloxy)-,	156348	001778-02-5	46
			{3.beta.)-			
	55.185	0.68	C:\Database\NIST05a.L			
			(R)-(-)-14-Methyl-8-hexadecyn-1-ol	93525	064566-18-3	94
			7-Pentadecyne	63038	022089-89-0	92
			9,12-Octadecadienoic acid (Z,Z)-	111993	000060-33-3	86

Figura 42. Cromatografía de gases 3 realizado por el cromatógrafo de gases HP 5890II/ChemStation localizado en el laboratorio de Análisis Instrumental Avanzado de la Universidad del Valle de Guatemala.



Fuente: Elaboración propia

Figura 43. Cromatografía de gases 3, ácidos grasos presentes (1/2) realizado por el cromatógrafo de gases HP 5890II/ChemStation localizado en el laboratorio de Análisis Instrumental Avanzado de la Universidad del Valle de Guatemala.

LIQA Library Search Report

Data Path : C:\msdchem\1\DATA\Biodiesel\Cafe120806\
 Data File : 120806-008.D
 Title :
 Acq On : 6 Aug 2012 20:42
 Operator : AdeM
 Sample : Espresso-2
 Misc : Espresso-2
 ALS Vial : 3 Sample Multiplier: 1

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

Pk#	RT	Area%	Library/ID	Ref#	CAS#	Qual
1	9.486	0.31	C:\Database\NIST05a.L 2-Butanone 2-Butanone 5,9-Dodecadien-2-one, 6,10-dimethyl-, (E,E)-	637 635 62957	000078-93-3 000078-93-3 1000132-10-9	86 86 78
2	10.691	1.34	C:\Database\NIST05a.L 2-Pentane isothiocyanate 3-Oxetanol, 2,2,3-trimethyl- 2-Pentanone	12493 7920 1684	201224-94-4 025910-96-7 000107-87-9	38 35 30
3	11.314	1.82	C:\Database\NIST05a.L Propanamide, N,N-dimethyl- N,N-Diisopropylformamide 1,3-Dioxolane, 2,4,5-trimethyl-	4017 12546 7937	000758-96-3 002700-30-3 003299-32-9	35 25 22
4	12.069	3.70	C:\Database\NIST05a.L 1-Propanol, 3-[3-(1-methylethoxy)propoxy]- 2-Propanol, 1-(2-methoxy-1-methylethoxy)- 2-Pentanol, 2-methyl-	40752 22178 4356	054518-03-5 020324-32-7 000590-36-3	43 38 38
5	12.638	1.86	C:\Database\NIST05a.L Oxirane, trimethyl- Ethanol, 2-methoxy-, acetate Oxirane, trimethyl-	1718 8438 1731	005076-19-7 000110-49-6 005076-19-7	14 14 14
6	19.674	0.73	C:\Database\NIST05a.L Hexane, 2,3,5-trimethyl- Tetrahydrofuran, 2,2-dimethyl- Hexane, 2-bromo-	12323 3855 32357	001069-53-0 001003-17-4 003377-86-4	43 40 38
7	19.834	0.62	C:\Database\NIST05a.L Oxalic acid, isohexyl pentyl ester Hexane, 2,3,5-trimethyl- Pentanoic acid, 2,2-dimethyl-, ethyl ester	87736 12323 27878	1000309-32-8 001069-53-0 044970-05-0	46 43 35
8	20.411	0.98	C:\Database\NIST05a.L 1-Pentanol, 2,2-dimethyl- Hexane, 2-methyl- Hexane, 3-bromo-	8150 3893 32358	002370-12-9 000591-76-4 003377-87-5	50 38 38
X 9	33.962	22.05	C:\Database\NIST05a.L Hexadecanoic acid, methyl ester Pentadecanoic acid, 14-methyl-, methyl ester Hexadecanoic acid, methyl ester	105639 105662 105644	000112-39-0 005129-60-2 000112-39-0	98 98 97
10	36.182	0.40	C:\Database\NIST05a.L Cyclopentadecane Cyclohexadecane, 1,2-diethyl- Trichloroacetic acid, dodecyl ester	64459 112113 142102	000295-48-7 1000155-85-3 074339-50-7	92 78 70

glicerina.M Tue Aug 07 12:49:22 2012 Page: 1

Fuente: Elaboración propia

Figura 44. Cromatografía de gases 3, ácidos grasos presentes (2/2) realizado por el cromatógrafo de gases HP 5890II/ChemStation localizado en el laboratorio de Análisis Instrumental Avanzado de la Universidad del Valle de Guatemala.

LIQA Library Search Report

Data Path : C:\msdchem\1\DATA\Biodiesel\Cafe120806\
 Data File : 120806-008.D
 Title :
 Acq On : 6 Aug 2012 20:42
 Operator : Adem
 Sample : Espresso-2
 Misc : Espresso-2
 ALS Vial : 3 Sample Multiplier: 1

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

PK#	RT	Area%	Library/ID	Ref#	CAS#	Qual
X 11	37.323	15.81	C:\Database\NIST05a.L 9-Octadecenoic acid (Z)-, methyl ester	122321	000112-62-9	99
			6-Octadecenoic acid, methyl ester	122301	052355-31-4	99
			8-Octadecenoic acid, methyl ester	122297	002345-29-1	99
X 12	37.960	45.71	C:\Database\NIST05a.L 9,12-Octadecadienoic acid, methyl ester	121093	002462-85-3	99
			10,13-Octadecadienoic acid, methyl ester	121100	056554-62-2	99
			9,12-Octadecadienoic acid (Z,Z)-, methyl ester	121107	000112-63-0	99
13	38.806	2.95	C:\Database\NIST05a.L 9,12,15-Octadecatrienoic acid, methyl ester, (Z,Z,Z)-	119875	000301-00-8	99
			9,12,15-Octadecatrienoic acid, methyl ester, (Z,Z,Z)-	119876	000301-00-8	94
			7,10,13-Hexadecatrienoic acid, methyl ester	101432	056554-30-4	91
14	40.239	1.73	C:\Database\NIST05a.L Eicosanoic acid, methyl ester	140310	001120-28-1	87
			Eicosanoic acid, methyl ester	140313	001120-28-1	64
			2-Methyl-Z,Z-3,13-octadecadienoic acid	112083	1000130-90-5	56

glicerina.M Tue Aug 07 12:49:22 2012 Page: 2

Fuente: Elaboración propia

XIII. GLOSARIO

Ácidos grasos: Son ácidos carboxílicos de cadena larga, que se hallan normalmente formando parte de otros lípidos, Las sales de los ácidos grasos se llaman jabones.

Biodiésel: Es un biocombustible líquido que se obtiene a partir de lípidos naturales como aceites vegetales o grasas animales.

Biocombustibles de primera generación: Son los que provienen de cultivos agrícolas entre los que se destacan maíz, caña de azúcar y soja.

Café verde: Grano de café sin tostar también llamado café almendra.

Contenido de humedad (H. R.): El contenido de humedad de la biomasa es la relación de la masa de agua contenido por kilogramo de materia seca.

Cromatografía: Método de separación de diferentes componentes de una muestra a través del paso de una muestra por una fase estacionaria con la ayuda de la fase móvil.

Cromatograma: Gráficos que se obtiene cuando se coloca, al final de la columna, un detector que responde a la presencia de un analito, cuya representación se realiza en función del tiempo.

Lixiviación: Es un proceso físico de transferencia de materia que ocurre cuando un solvente líquido atraviesa un sólido produciendo la elusión de algún componente soluble (soluto) en dicho sólido.

Melanoidinas: Compuestos formados en los alimentos durante su tratamiento térmico. Se originan mediante las reacciones de Maillard.

Número ácido: Determina el nivel de ácidos grasos libres presentes en un biocombustible. El número ácido total se expresa en mg KOH/g aceite, representa la cantidad de base para neutralizar los ácidos presentes en un gramo de aceite.

Poder calórico: El contenido calórico por unidad de masa es el parámetro que determina la energía disponible en la biomasa.

Porcentaje de cenizas: Indica la cantidad de materia sólida no combustible por kilogramo de material.

Poso de café: Café residual resultante de la fabricación de la bebida del café con agua o vapor.

Saponificación: Reacción química entre un lípido saponificable (ácido graso y una base o álcali).

Shinga de café: Sobrante o residuo que queda en un recipiente donde se hizo café.

Tegumento: Tejido que cubre ciertos órganos de las plantas, en especial los óvulos y las semillas.

