

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería



Producción de biodiésel a partir del poso de café por esterificación
en medio ácido

Trabajo de graduación en modalidad de tesis presentado por
Ada Mildred Bran Alegría
para optar al grado académico de Licenciada en Ingeniería Química

Guatemala

2017

Producción de biodiésel a partir del poso de café por esterificación
en medio ácido

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería



Producción de biodiésel a partir del poso de café por esterificación
en medio ácido

Trabajo de graduación en modalidad de tesis presentado por
Ada Mildred Bran Alegría
para optar al grado académico de Licenciada en Ingeniería Química

Guatemala

2017

Vo. Bo

(f) _____
(Ing. Gamaliel Zambrano)
Colegiado No. 686

Tribunal Examinador

(f) _____
(Ing. Gamaliel Zambrano)
Colegiado No. 686

(f) _____
(Ing. Cristián Rossi)
Colegiado No. 471

(f) _____
(Ing. Juan José Lira)
Colegiado No. 621

Fecha de aprobación: Guatemala, 5 de diciembre de 2017 ✓

PREFACIO

«Para empezar un gran proyecto, hace falta valentía. Para terminar un gran proyecto, hace falta perseverancia» (Anonimo).

«Si quieres triunfar, no te quedes mirando la escalera. Empieza a subir, escalon por escalon, hasta que llegues arriba» (Anonimo).

DEDICATORIA Y AGRADECIMIENTOS

A Dios	Por darme la inteligencia y sabiduría, por estar conmigo en cada momento, por brindarme fortaleza y permitirme culminar una meta más en mi vida.
A mis padres: Rudy Bran y Ada Alegría	Por su amor, por su apoyo incondicional, por motivarme a seguir mis sueños, por sus sabios consejos y por acompañarme en cada momento de mi vida
A mis hermanos: Rudy, Damaris y Luisa.	Por su amor, apoyo, palabras de ánimo, por ser mis mejores amigos y por acompañarme en las noches de desvelo.
A mis abuelitos: Carlos y Carolina de Alegría	Por ser mis segundos padres, por estar siempre para mí, por su apoyo incondicional, por brindarme su amor y motivación en todo momento.
A mis abuelitos: Alberto y Esvelda Bran	Por sus palabras de ánimo, por recordarse siempre de mí a pesar de estar lejos y por su apoyo.

A mis tíos y tías.	Por sus palabras de ánimo, por su apoyo incondicional en especial a mi tía Siomí por apoyarme en la revisión de mi trabajo de graduación.
A la Universidad del Valle de Guatemala	Por abrir sus puertas y haberme privilegiado con su alta calidad educativa.
A los Ingenieros: Gamaliel Zambrano, Cristián Rossi, Carmen Ortiz y Angelika Hasselmann	Por compartir sus saberes, darme la oportunidad de crecer profesionalmente y por su apoyo incondicional en la elaboración del trabajo de graduación.
A la empresa &CAFÉ	Por proporcionarme la materia prima para la elaboración de mi trabajo de graduación.
A mis amigos: Brenda, Mafer, Heydi y Rodrigo	Por brindarme su amistad, tiempo, cariño, apoyo, por alentarme en cada momento de mi vida y estar para mí cuando los he necesitado.
A mis compañeros de estudio:	Por compartir conmigo alegrías, tristezas, desvelos, enojos, problemas y fiestas en los años de la carrera.
A los encargados de laboratorio.	Por brindarme lo necesario para la elaboración experimental del trabajo de graduación.

CONTENIDO

	Página
PREFACIO	v
LISTA DE TABLAS	ix
LISTA DE FIGURAS	xii
RESUMEN	xiv
Capítulos	
I INTRODUCCIÓN	1
II OBJETIVOS	3
A. Generales	3
B. Especificos	3
III JUSTIFICACIÓN	4
IV MARCO TÉORICO	6
A. Composición química del café tostado	6
B. Café de Guatemala	9
C. Café espresso	11
D. Poso de café	12
E. Aceite de café	13
F. Extracción soxhlet	18
G. Biodiésel	20
H. Transterificación de aceites	22
I. Producción de biodiésel en la industria	23
1. Calidad del biodiésel	26
V METODOLOGÍA	28
A. Recolección y almacenamiento del poso del café	28
B. Secado del poso del café	28
C. Tamizado del poso del café	29

D.	Extracción de aceites de café por mezcla de solventes	29
E.	Destilación de aceite de café	30
F.	Caracterización de aceite de café	31
	1. Prueba de número ácido	31
	2. Prueba de densidad	31
	3. Prueba de índice de refracción	32
	4. Prueba de porcentaje de sólidos	32
	5. Prueba de PH	33
G.	Producción de biodiésel a partir de aceite de café	33
	1. Prueba 3/27 para biodiésel	34
VI	RESULTADOS	35
VII	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	43
VIII	CONCLUSIONES	51
IX	RECOMENDACIONES	53
X	BIBLIOGRAFÍA.....	55
XI	APÉNDICE	58
	A. Procedimiento	58
	B. Datos de placa	63
	C. Datos intermedios	68
	D. Figuras de equipo experimental.....	73
XII	GLOSARIO	101

LISTA DE TABLAS

No		Página
1.	Promedio de la composición química del grano de café verde, según la especie y porcentaje en base seca.....	7
2.	Contenido de ácidos en granos de café verde, según la especie y % en base seca	8
3.	Sabores de algunos ácidos del café.....	8
4.	Compuestos químicos de algunos defectos del café.....	9
5.	Producción de café por departamento en la república de Guatemala en quintales oro.	11
6.	Producción de café en millones de quintales oro en los años 2008-2009 a 2011-2012.....	11
7.	Composición química del poso del café.....	13
8.	Composición promedio de lípidos en el aceite de café.....	14
9.	Rendimiento del contenido de aceite de café en relación a los diferentes tamices en base seca.....	15
10.	Propiedades químicas del aceite de café.....	15
11.	Propiedades físicas determinadas experimentalmente al aceite de café tipo Genuino Antigua.....	16
12.	Propiedades químicas determinadas experimentalmente al aceite de café tipo Genuino Antigua.....	16
13.	Total de ácidos grasos presentes determinados experimentalmente al aceite de café tipo.....	17
14.	Solventes utilizados en extracción soxhlet.....	19
15.	Comparación de las propiedades de biodiésel y diésel.....	21
16.	Estándares para biodiésel ASTM D6751 (United States).....	26
17.	Estándares europeos para biodiésel EN 14213.....	27
18.	Estándares brasileños para biodiésel ANP.....	27

19.	Porcentaje promedio total (m/m) de aceite de café extraído de 38 extracciones y 19 destilaciones.....	35
20.	Porcentaje promedio en masa del aceite de café obtenido de las extracciones y destilaciones realizadas en el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala	36
21.	Rendimiento promedio del porcentaje de aceite (m/m) obtenido al compararlo con el porcentaje de aceite (m/m) de la literatura citada.....	36
22.	Comparación entre el porcentaje de recuperación de solventes obtenido experimentalmente y el de la literatura citada con su respectivo rendimiento	37
23.	Comparación de las características físicas del destilado con aceite de café extraído con características físicas reportados de otros autores.....	37
24.	Costo por extracción y costo total para realizar 38 extracciones por método Soxhlet	38
25.	Costo por destilación y costo total para 19 destilaciones realizadas.....	39
26.	Costo por gramo y por mililitro de aceite de café extraído.....	39
27.	Costo para producir biodiésel a escala laboratorio, se realizaron 4 pruebas	40
28.	Ácidos grasos identificados en el destilado con aceite de café	41
29.	Compuestos representativos en el destilado de aceite de café	42
30.	Datos del secador de Gabinete.....	63
31.	Datos de balanza analítica digital BOECO	63
32.	Datos de balanza analítica digital OHAUS	63
33.	Datos de tamizador.....	63
34.	Datos del refractómetro.....	64
35.	Datos de balanza de humedad	64
36.	Datos del picnómetro utilizado en pruebas de densidad	64
37.	Cristalería y equipo utilizado para la extracción de aceite	64
38.	Cristalería y equipo utilizado para la destilación de solventes	65
39.	Cristalería y equipo utilizado para la reacción de esterificación	65

40.	Cristalería y equipo utilizado para la determinación del número ácido.....	66
41.	Especificaciones del hexano utilizado para extracción	66
42.	Especificaciones del 2-propanol utilizado para extracción	66
43.	Especificaciones del hidróxido de potasio	67
44.	Especificaciones del ácido sulfúrico	67
45.	Especificaciones de metanol utilizado en la reacción de esterificación	67
46.	Promedios de masa de poso, aceite y porcentaje (m/m) de café	68
47.	Promedios de masa de poso, aceite y porcentaje (m/m) de café obtenidos de 6 extracciones y 3 destilaciones con baño de arena	69
48.	Primer análisis granulométrico realizado al poso de café	69
49.	Segundo análisis granulométrico realizado al poso de café	70
50.	Tercer análisis granulométrico realizado al poso de café	70
51.	Prueba en triplicado del Índice de refracción del aceite	71
52.	Datos calculados para determinar densidad del aceite en triplicado	71
53.	Prueba en triplicado de la densidad del aceite	71
54.	Determinación del número ácido	71
55.	Determinación de masa de sólidos retenidos por filtración, en el aceite extraído.....	72
56.	Porcentaje de sólidos presentes en el aceite obtenido por destilación simple	72
57.	Porcentaje de sólidos presentes en el aceite obtenido por destilación con baño de arena.....	72
58.	Prueba en triplicado del valor de pH del aceite	72

ÍNDICE DE FIGURAS

No		Páginas
1.	Clasificación de ácidos grasos según el grado de saturación.....	17
2.	Sistema de Extracción Soxhlet.....	19
3.	Extracción de aceite de café utilizando distintos solventes y mezcla de ellos	20
4.	Recuperación de solventes utilizando distintos solventes y mezclas de ellos	20
5.	Reacción de transesterificación para producción de biodiésel.....	23
6.	Reacción de esterificación en medio ácido para producción de biodiésel.	23
7.	Esquema de la producción de biodiésel por catálisis básica a nivel industrial	24
8.	Proceso de pretratamiento de materias primas altas en ácidos grasos libres	25
9.	Diagrama de bloques con balance de masa del proceso	35
10.	Secador de gabinete utilizado para secar el poso de café.	73
11.	Poso de café distribuido de las bandejas de metal para su posterior secado.	73
12.	Posición de las bandejas de metal dentro del secador de gabinete.	74
13.	Verificación de la humedad del poso de café en balanza de humedad.....	74
14.	Muestras del poso de café utilizadas para verificación de humedad.....	75
15.	Tamizaje de poso de café secado, realizado en un banco de tamices.....	75
16.	Filtro o cartucho Soxhlet utilizado para realizar la extracción del aceite de café	76
17.	Filtro o cartucho Soxhlet dentro del Soxhlet para realizar extracción.....	76
18.	Sistema de extracción utilizado para la extracción de aceite de café.	77
19.	Dos sistemas de extracción puestos en serie.....	77
20.	Sistema de extracción y destilación realizadas al mismo tiempo.....	78
21.	Aceite de café mezclado con solventes luego de la extracción con sistemas Soxhlet	78

22.	Sistemas de extracción de aceite de café y destilación de solventes, puestos en serie para realizar los procesos al mismo tiempo.....	79
23.	Sistema de destilación de solventes puesto en baño de arena.....	79
24.	Evaporación de restos de solventes y agua en el aceite de café extraído.....	80
25.	Aceite de café extraído para realizar caracterización.	80
26.	Filtración al vacío del aceite extraído realizado con kitazato y embudo Buchner	81
27.	Residuos sólidos generados en la filtración del aceite de café.....	81
28.	Prueba de densidad del aceite de café por medio de un picnómetro de 25ml	82
29.	Refractómetro utilizado para pruebas en triplicado del índice de refracción del aceite de café.....	82
30.	Pruebas del número ácido del aceite de café determinado por titulación con KOH	83
31.	Reacción de esterificación en medio ácido realizada al aceite de café para la producción de biodiésel	83
32.	Muestra de la solución obtenida por la reacción de esterificación	84
33.	Sólidos obtenidos en la reacción de esterificación por medio ácido.....	84
34.	Cromatograma de aceite de café	85
35.	Compuestos químicos en el aceite de café	86
36.	Compuestos presentes en el aceite de café con áreas y tiempos de retención	97

RESUMEN

Actualmente se genera una gran cantidad de desechos sólidos producidos a raíz de la preparación de bebidas de café. Dentro de estos se encuentra el poso o popularmente “shinga” de café, con un contenido de aceite estimado entre 11% y 20% m/m, el cual representa un problema ambiental, debido al gran volumen que este residuo representa.

En Guatemala, las empresas que preparan las bebidas de café, como &Café, generan residuos sólidos como el denominado poso de café. Por lo mismo, se decidió utilizar el poso de café proveniente de la bebida de café tipo espresso, provisto por aquella empresa, como materia prima para la investigación, ya que es una fuente económica y abundante para la fabricación de biodiesel.

El experimento consistió en realizar extracciones Soxhlet con una mezcla de solventes, seguido de la destilación del aceite de café, la caracterización física y química del mismo y, por último, la producción de biodiésel por medio de una esterificación en medio ácido. Se obtuvo una cantidad de 88.2360 ± 0.0001 g de destilado, que equivale a un porcentaje promedio de 18.52% m/m de destilado con aceite de café con características adecuadas y dentro de los rangos establecidos por la literatura citada. En las pruebas de producción de biodiésel se determinó que la reacción no se completó debido a los compuestos químicos característicos del aceite de café que lo impidieron, así como la purificación del mismo.

Se determinó la viabilidad económica de toda la experimentación la cual arrojó un alto costo económico debido al tiempo que se emplea para realizar las extracciones, destilaciones y reacciones, las cuales involucran altos consumos de agua, electricidad, reactivos y equipo de laboratorio.

I. INTRODUCCIÓN

Actualmente la conciencia sobre la problemática ambiental, ocasionada por los efectos de la producción de energía utilizando combustibles fósiles, ha aumentado a nivel mundial. Debido a esto, se han desarrollado distintos métodos y alternativas para la sustitución del uso de los combustibles fósiles por fuentes de energía renovable y amigable al ambiente.

Los biocombustibles se presentan como una alternativa energética para su uso en transporte, con respecto al uso de combustibles fósiles. Este es el caso del biodiésel y bioetanol. El biodiésel es un combustible producido a partir de grasas y aceites vegetales y animales, usando una reacción de trans-esterificación o esterificación. De aquí se deriva la oportunidad de utilizar estas materias primas vírgenes y también las usadas y desechadas.

El presente trabajo tenía como objetivo extraer aceite a partir del poso de café y producir biodiésel a escala laboratorio, por esterificación en medio ácido y evaluarlo como fuente viable de energía renovable. Para la extracción del aceite se llevó a cabo una extracción a escala laboratorio utilizando el método *Soxhlet* controlando las variables de temperatura, humedad del poso de café y el tiempo de contacto entre el solvente (120.0 ± 0.5 mL) y la muestra (10.0000 ± 0.0001 g de poso de café). Como solvente se utilizó una mezcla de hexano- isopropanol 50-50% v/v.

Para la destilación se armaron dos sistemas. El primero fue un sistema de contacto directo entre el balón con la muestra y el calor proporcionado, el segundo sistema consistió en el uso de un baño de arena para evitar el contacto directo del calor con el balón que contenía la muestra. Las variables controladas en ambos sistemas fueron la temperatura y cantidad de solvente destilado. A partir de la masa de aceite de café obtenido, la cual fue de $88.2810 \pm 0.0001\%$, se determinó el porcentaje m/m del aceite extraído de 32 y 6 extracciones respectivamente para los dos sistemas descritos anteriormente. Se determinó que los porcentajes promedio en masa fueron de 18.15 y $20.37 \pm 0.01\%$, respectivamente, teniendo un promedio de $19.26 \pm 0.01\%$. Se determinó que el porcentaje de extracción es alto comparado con los valores de literatura citada y es una ruta viable para posteriores experimentos.

El aceite se sometió a pruebas de caracterización físicas y químicas para compararlas con pruebas obtenidas de otros experimentos y de la literatura citada. Las pruebas realizadas fueron de

densidad, viscosidad a $40.0\pm 0.5^{\circ}\text{C}$, índice de refracción a $20.0\pm 0.5^{\circ}\text{C}$, pH, humedad, índice de acidez y sólidos suspendidos. Todas las pruebas físicas dieron resultados dentro del rango de los valores teóricos, con lo que se determinó que el poso de café posee características que lo hacen una materia prima potencial para la producción de biodiésel. La prueba química consistió en una cromatografía de gases en la que se detectaron todos los compuestos presentes en el aceite de café extraído, teniendo ácidos grasos en pequeñas cantidades.

En cuanto al biodiésel, se realizó la reacción de esterificación en medio ácido utilizando tres tipos de alcohol: metanol, 2-propanol y 1-propanol, y se obtuvieron los mismos resultados para los tres alcoholes. En las cuatro corridas realizadas se dio la separación de fases, pero se obtuvo un sólido de color oscuro y un líquido verdoso, el cual al someterlo a la prueba 3/27 para biodiésel, dio resultados negativos, lo cual indicó que la reacción de esterificación no se completó. Debido a esto, se concluyó que la reacción no se logró por todos los compuestos que presenta el aceite de café, por lo que es necesario profundizar en un tratamiento de purificación del aceite para lograr la producción de biodiésel.

Se realizó una evaluación económica para realizar toda la experimentación. Se obtuvieron los costos para 38 extracciones, 19 destilaciones y 4 reacciones, los cuales fueron de Q 1,490.13, Q 2,024.16 y Q 2,064.53, respectivamente. Con estos datos como base, se determinó el costo de un gramo del destilado con aceite de café, que se estimó en Q 22.93. Es decir, el costo de extraer aceite para producir biodiésel es alto en comparación con la cantidad de aceite que se obtiene, a pesar de que el rendimiento del aceite extraído del poso de café es alto comparado con los valores de la literatura citada.

Con base en la experimentación realizada, se puede decir que la metodología planteada es una ruta viable para reutilizar los desechos provenientes de la bebida de café, específicamente la “shinga”, de la cual se obtuvo un alto porcentaje de aceite, así también es una ruta para extraer aceite de café con características dentro del rango de los estándares de aceite, aunque es necesario purificar el mismo para su uso en la producción de biodiésel.

II. OBJETIVOS

A. Objetivo general

Extraer aceite a partir del poso de café para la producción de biodiesel, a escala laboratorio, por esterificación en medio ácido, y evaluarlo como fuente viable de energía renovable.

B. Objetivos específicos

- Extraer, con solventes, aceite del poso de café de Guatemala, usando como solvente una mezcla de hexano-isopropanol 50-50% v/v para determinar rendimientos y viabilidad económica.
- Caracterizar el aceite obtenido de la extracción con pruebas estándar de la AOAC, usando como parámetros de referencia los resultados de investigaciones anteriores.
- Producir biodiésel a escala laboratorio con una esterificación en medio ácido para evaluar rendimientos y verificar su producción usando la prueba 3/27, y pruebas estándar de la ASTM.
- Determinar los ácidos grasos presentes en el aceite de café extraído por medio de un análisis de cromatografía de gases para conocer las características químicas del mismo.

III. JUSTIFICACIÓN

El estudio e investigación de las alternativas para producir biocombustibles, usando fuentes renovables y reduciendo el impacto ambiental originado por los residuos generados, son relevantes. En la actualidad es necesario encontrar otras fuentes para la generación de energía renovable debido a dos aspectos: el principal, los combustibles fósiles se agotan día con día y se requiere de alternativas que los sustituyan para cumplir con la demanda mundial, siendo uno de estos el biodiésel. Como segundo aspecto, se busca el menor impacto ambiental, implementando soluciones que reduzcan el mismo al dar tratamiento o reúso a los residuos.

El biodiésel es un combustible alternativo procedente de la reacción química de aceites o grasas vegetales y animales con alcoholes. Comúnmente se han utilizado aceites de semillas comestibles, sin embargo, hay organizaciones que protegen el ambiente y se han pronunciado contra el uso de estos aceites debido a que los cultivos de estas semillas requieren de altas cantidades de agua para regular su crecimiento, lo cual provoca un uso excesivo del agua como recurso y estas semillas por ser comestibles, pueden ser utilizadas para consumo humano o animal.

Tomando en consideración esta problemática, se han investigado otras fuentes naturales procedentes de residuos agroindustriales, entre ellas están el aceite vegetal de frituras utilizado en la industria de alimentos. Actualmente se generan grandes volúmenes de aceite vegetal proveniente de la alta demanda de productos fritos, lo que provoca un problema ambiental de gran magnitud, ya que, al no ser reutilizado para la producción de alimentos, debido a que las altas temperaturas a las que es sometido el aceite generalmente provoca la liberación de agentes cancerígenos.

La mayoría de las industrias vierte o desecha el aceite directamente a los suelos, ríos y mares, entre otros, provocando la contaminación de 1, 000,000 de litros de agua por cada litro de aceite vegetal desechado. Por lo mismo, se ha tomado la iniciativa de reutilizar este aceite vegetal para la producción de biodiésel, evitando de esta manera la contaminación al ecosistema y contribuyendo a la producción de energía renovable.

Otra fuente alternativa, sobre la que versa esta investigación, son los residuos de café, específicamente el poso o “shinga”, proveniente de la producción de la bebida. Estos posos de café son un material comúnmente desechado en hogares y cafeterías, mientras que en otros países se

utilizan como abono para la tierra. Sin embargo, el café presenta un porcentaje significativo de aceite luego de lixiviarse y convertirse en poso. Es por ello que el aceite de los posos de café se puede usar como materia prima para la producción de biodiésel, reduciendo la carga orgánica que estos poseen, así como posibles emisiones de metano cuando se fermentan en condiciones no controladas de los vertederos de desechos, reduciendo el impacto ambiental.

En Guatemala, durante los años 2013 y 2014, se reportó una producción de 4.08 millones de quintales oro de café, el equivalente a 408, 000,000 kg, el cual pierde un 20% en masa al tostarlo, teniendo una cantidad de café tostado de 326, 400,000 kg para utilizarlo en la preparación de bebida de café. Según datos de ANACAFE, se estima un consumo local, en cafeterías, hogares y restaurantes, de 400,000 quintales oro de café, equivalente a 40, 000,000 kg teniendo una cantidad de café tostado de 32, 000,000 kg que al utilizarlo en la preparación de la bebida de café generaría residuos sólidos, como lo es el poso de café el cual tiene un contenido de aceite estimado de 11 a 20% m/m.

La cantidad de poso de café generado a partir de la producción de café puede utilizarse para la producción de biodiésel, el cual contribuiría a reducir la cantidad de diésel importado a Guatemala, siendo este de 7, 528,302.5 barriles reportados en el año 2015, según el Ministerio de Energía y Minas de Guatemala.

Uno de los métodos para separar el aceite de café de los residuos sólidos es el de extracción con solventes, según el artículo de “Valorization of coffe grounds for biodiesel production” (2012). Se demostró experimentalmente que una mezcla de isopropanol-hexano (50-50 %) v/v facilita una extracción de aceite con alto rendimiento, aunque la recuperación de solvente es baja. Considerando el costo de solventes y la energía consumida para recuperar el aceite y los solventes, se recomendó realizar la extracción con esta mezcla para futuros experimentos, tomando en cuenta que se recupera gran parte del aceite para producción de biodiésel.

Debido a esto se considera que las pruebas y posterior producción de biodiésel a partir de los desechos sólidos, “shinga”, generados de la fabricación de la bebida de café espresso de la tienda &CAFÉ, serían de beneficio, ya que se tratarían los residuos sólidos y se contribuiría a la producción de un biocombustible de manera amigable con el ambiente.

IV. MARCO TEÓRICO

A. Composición química del café tostado

El café, químicamente, se compone de agua y materia seca. La materia seca de los granos del café almendra está constituida por minerales y por sustancias orgánicas que son los carbohidratos, lípidos, proteínas, alcaloides, como la cafeína y la trigonelina, así como por ácidos carboxílicos y fenólicos, y por compuestos volátiles que dan el aroma a la almendra. Por su parte, los granos de café tostado contienen varios de los compuestos químicos que se encuentran en la almendra, aunque en diferentes concentraciones; y, además, se detectan cientos de otras sustancias que se forman en las diversas reacciones mediante el calor durante la tostación. (Cenicafé. 2011)

Dependiendo de la humedad y calidad del grano almendra y del grado de tostación, el grano de café tostado puede contener entre 3.5% y 5.0% de agua. En el café tostado de las variedades de Arábica de Colombia, la fibra constituye cerca del 21.3%, los lípidos el 11.9%, las proteínas 13.8% y la cafeína 1.3%. (Cenicafé. 2011)

Carbohidratos. Entre el 15% y 20% de los polisacáridos contenidos en los granos de café almendra se degradan en la tostación. La sacarosa se descompone completamente, se carameliza y, así, se producen pigmentos que dan color caramelo y amargo a la bebida, y también ácido fórmico, acético, glicólico, láctico y compuestos aromáticos como los furanos. (Cenicafé. 2011)

Lípidos. 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 y forman aldehídos y otros compuestos volátiles. (Cenicafé. 2011)

Proteínas. Estas se componen de aminoácidos unidos por enlaces peptídicos. La degradación y disminución del contenido de proteínas en el grano de café tostado dependen del grado de tostación. Los aminoácidos reaccionan y generan compuestos del aroma del café tostado. El contenido 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 Robusta que en Arábica. (Cenicafé. 2011)

Alcaloides. La cafeína es estable en la tostación y es soluble en agua. El 85% de la trigonelina se transforma en piridinas, pirroles, ácido nicotínico y otros compuestos nitrogenados. (Cenicafé. 2011)

Ácidos clorogénicos. En la tostación, los ácidos clorogénicos se isomerizan, se unen a las melanoidinas, se hidrolizan, forman quinolactonas y se transforman en catecol, guayacol y pirogalol que tienen olores a humo y quemado. (Cenicafé. 2011)

Ácidos. Los principales ácidos del café tostado son: clorogénicos, quínico, cítrico, acético, málico, fórmico, fosfórico, glicólico, láctico y otros 36 ácidos. Estos ácidos provienen del café almendra y otros se producen en la tostación a partir de los carbohidratos, sacarosa, ácido cítrico, málico y fosfórico. (Cenicafé. 2011)

Aromas del café tostado. Los olores están compuestos de varias sustancias volátiles. En el aroma del café se encuentran cerca de 850 compuestos volátiles, principalmente furanos, pirazinas, cetonas, pirroles, fenoles, hidrocarburos, ácidos, aldehídos, ésteres, alcoholes y los tiofenos, tiazoles y oxazoles que no se encuentran en el grano almendra, son cerca de 244 compuestos nitrogenados y 75 azufrados. (Cenicafé. 2011)

Tabla 1. Promedio de la composición química del grano de café verde, según la especie y porcentaje en base seca.

Componente químico	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 clorogénicos	6.90	10.40
Minerales	4.20	4.40
Compuestos aromáticos	Trazas	Trazas

(Puerta. 2011)

Tabla 2. Contenido de ácidos en granos de café verde, según la especie y % en base seca.

Ácido	Arábica (%)	Robusta (%)
Cítrico	1.16 a 1.38	0.67 a 1.00
Málico	0.46 a 0.67	0.25 a 0.38
Fosfórico	0.11 a 0.11	0.14 a 0.22
Oxálico	Trazas a 0.2	Trazas a 0.2
Succínico	Trazas a 0.15	0.05 a 0.35
Fórmico	Trazas a 0.14	Trazas a 0.39
Acético	Trazas	Trazas a 0.2

(Puerta. 2011)

Tabla 3. Sabores de algunos ácidos del café

Ácidos	Sabor
Clorogénico	Amargo, astringente
Quínico	Amargo y ácido
Cítrico	Ácido intenso como limones
Acético	Agrio
Málico	Manzana verde
Fórmico	Ácido fuerte, acre
Fosfórico	Ácido refrescante
Glicólico	Ácido fuerte
Láctico	Agridulce
Fumárico	Muy ácido, pero no picante
Maléico	Irritante, acre
Succínico	Amargo y salado
Tartárico	Ácido fuerte a uvas negras

(Puerta. 2011)

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 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 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.
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
<i>Stinker</i> , nauseabundo	2-isobutilmetoxipirazina, ésteres, dicetonas, dimetilsulfito	Degradación en el beneficio.

(Puerta. 2011)

B. Café de Guatemala

Guatemala es el mayor productor de café de Centroamérica. En este país se cultiva básicamente café arábica, la mayor parte de este, cerca del 90%, se vende al exterior como café de calidad. Según estimaciones de ANACAFÉ, en los años 2009/2010 el país produjo entre 3.7 millones y 3.8 millones de sacos de 60 kilos de café. (ForumCafé. 2001)

Los microclimas que existen en las regiones cafetaleras marcan la diferencia en las características de fragancia, aroma, acidez, cuerpo, sabor y post sabor, de los granos guatemaltecos. En las zonas bajas, de 760 a 1070 metros sobre el nivel del mar, el crecimiento es más rápido. Esto hace que el café no posea mucha acidez y cuerpo. Es considerado un café suave y agradable, conocido a nivel internacional como Prime y Extra Prime. (ForumCafé. 2001)

En las zonas intermedias, entre 1070 a 1200 metros sobre el nivel del mar, las calidades aumentan, el café de esta altura es conocido como Semiduro y Duro. En las zonas más altas, a partir


de los 1300 metros sobre el nivel del mar, se cultiva el café Estrictamente Duro, muy cotizado a nivel mundial por su peculiar acidez, cuerpo consistente, sabor definido y fuerte aroma. (ForumCafé. 2001)

El café guatemalteco es recolectado a mano para seleccionar el fruto adecuado, que no debe ser verde ni tampoco muy maduro. El procesamiento habitual es un primer beneficio húmedo, seguido del secado al sol y beneficio seco, en el que las máquinas concierten el grano pergamino en grano oro, listo para enviar a los tostaderos. (ForumCafé. 2001)

Los habitantes de Guatemala no son bebedores habituales de café, tan solo se consumen unos 250 gramos de café per cápita. Históricamente, los mejores granos, los más grandes, de mejor color y peso, se exportan, reservando para el mercado interior los de menor calidad. Alrededor de 460 gramos de café de Guatemala pueden llegar a tener un valor entre 14 o 15 dólares USA, esto hace que no sólo propietarios de grandes fincas lo vendan en el mercado internacional sino también los pequeños caficultores reunidos en cooperativas. La FEDECOCAGUA exporta hacia Europa el 80% del café de mejor calidad, el 15% a Estados Unidos de América y el 5% a Japón. (ForumCafé. 2001).

Entre los departamentos de Guatemala, que representan por su volumen de producción de café en oro, un mayor número de quintales son: en primer lugar, Santa Rosa con 1,102,492 quintales oro equivalentes a 50,113,272.72 Kg de café oro, en segundo lugar, Huehuetenango, con una producción de 689,507 quintales oro equivalentes a 71,317,322 Kg de café oro, en tercer lugar Chiquimula con 544,375 quintales oro equivalentes a 25,041,250 Kg de café oro, en cuarto lugar, Guatemala con 330,789 quintales oro equivalentes a 15,216,294 Kg de café oro, en quinto lugar San Marcos con una producción de 298,484 quintales de café oro equivalentes a 13,730,264 Kg de café oro, en sexto lugar Suchitepéquez con 12,627,874 Kg de café oro, en séptimo lugar Sacatepéquez con 199,798 quintales oro equivalentes a 9,190,294 Kg de café oro, en octavo lugar Alta Verapaz con una producción de 188,849 quintales de café oro equivalentes a 8,687,054 Kg de café oro. (ANACAFE. 1991).

Tabla 5. Producción de café por departamento en la república de Guatemala en quintales oro.

		Producción de Café en la República por departamento, en quintales oro							
		Ejercicios Cafeteros 1998/1999 a 2004/2005							
	Departamento	1998 - 1999 Quintales Oro	1999 - 2000 Quintales Oro	2000 - 2001 Quintales Oro	2001 - 2002 Quintales Oro	2002 - 2003 Quintales Oro	2003 - 2004 Quintales Oro	2004 - 2005 Quintales Oro	
1	Guatemala	527,680	484,292	292,261	288,276	331,345	248,265	330,786	
2	El Progreso	31,498	44,153	22,988	45,850	26,036	24,984	36,616	
3	Sacatepequez	153,470	106,380	116,868	119,812	115,330	177,282	199,798	
4	Chimaltenango	370,101	316,476	340,136	220,272	251,999	234,891	257,661	
5	Escuintla	187,004	203,740	206,088	110,852	124,929	93,493	80,320	
6	Santa Rosa	1,234,448	1,433,046	1,044,870	728,881	1,218,337	1,196,636	1,102,492	
7	Solola	192,658	143,718	158,472	101,421	152,626	121,329	158,062	
8	Totonicapan	-	-	-	2,725	-	-	-	
9	Quezaltenango	491,102	617,020	430,856	326,127	263,754	158,199	108,929	
10	Suchitepequez	467,124	453,603	488,416	399,311	440,816	252,790	274,519	
11	Retalhuleu	175,093	107,922	114,889	64,513	54,778	48,285	32,588	
12	San Marcos	792,830	536,861	611,738	370,577	435,759	204,435	298,484	
13	Huehuetenango	532,871	690,012	692,742	545,069	676,201	669,078	689,507	
14	El Quiché	19,950	49,632	78,764	47,434	74,381	63,329	56,572	
15	Baja Verapaz	29,152	27,890	44,720	22,129	12,886	8,455	5,234	
16	Alta Verapaz	492,493	770,958	552,819	456,040	437,807	400,739	188,849	
17	El Peten	-	-	37	2,469	-	-	-	
18	Izabal	14,021	6,944	4,005	2,560	129	1,263	2,526	
19	Zacapa	189,030	212,238	239,976	141,933	165,406	107,194	37,643	
20	Chiquimula	214,652	622,693	524,341	359,518	265,974	280,272	544,375	
21	Jalapa	149,495	241,010	199,345	177,608	255,630	130,931	261,399	
22	Jutiapa	139,652	177,396	187,527	109,185	196,736	261,930	117,393	
Totales		6,404,323	7,245,984	6,351,858	4,642,562	5,500,859	4,683,778	4,783,751	

(ANACAFE. 2005)

Más del 90% de la producción de café se exporta a diferentes destinos. En la actualidad se estima un consumo local de 400,000 quintales oro. Cada embarque es autorizado por ANACAFE con informaciones sobre el tipo de café y destino. Las estadísticas oficiales hacen referencia a “producción exportable” por la razón indicada. Para estimaciones locales se adiciona el dato de consumo local. (ANACAFE. 2005).

Tabla 6. Producción de café en millones de quintales oro en los años 2008-2009 a 2011-2012

Producción	2008-2009	2009-2010	2010-2011	2011-2012
Exportable	4.5	4.4	4.5	4.8
Consumo local	0.4	0.4	0.4	0.4
Total	4.9	4.8	4.9	5.2

(ANACAFE. 2005)

C. Café espresso

El espresso es una forma de preparar el café, pero 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 segundos. (Fuentes. 2005)

Para preparar el espresso se suele utilizar una mezcla de variedades de cafés Arábica y Robusta, para que confieran al perfil de taza deseado. El grano debe 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. (Fuertes. 2005)

La cafetera de café espresso cuenta con un chasis el cual es la base de sujeción de los elementos principales. Este debe 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. (Fuertes. 2005)

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, la cual debe estar entre 0.8 y 1 bar, con una temperatura aproximada del agua de 120°C. La temperatura de extracción del café espresso suele estar entre los 90/95°C y entre 20 y 30 segundos se debe obtener un café espresso de 25/35 mL. (Fuertes. 2005)

D. Poso de café

El café es el segundo producto más comercializado en el mundo 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 y el poso de café son los dos principales residuos dentro de las industrias. Los residuos del poso de café poseen un tamaño de partícula fino, alta humedad (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)

Tabla 7. 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	-
Ceniza	1.6

(Leifa *et al.* 2001)

El sector del café es una pieza clave dentro de la economía mundial, por el volumen de producto vendido y por los beneficios económicos. Las empresas productoras de café generan al año más de 2,000 millones de toneladas de los subproductos, productos muy ricos en fibra y compuestos fenólicos, todos ellos compuestos beneficiosos para la salud humana. (Rufián. 2015)

Científicos de la Universidad de Granada y de la Estación Experimental del Zaidín, han descubierto que los posos de café tienen una capacidad antioxidante hasta 500 veces superior a la vitamina C, y pueden ser reutilizados para elaborar alimentos funcionales con grandes cualidades saludables para el ser humano. Estos subproductos también son ricos en compuestos pardos, que dan lugar al color del café, conocido como melanoidinas, las cuales presentan diversas propiedades biológicas interesantes para el ser humano. (Rufián. 2015)

Los estudios han demostrado que los desperdicios del poso de café contienen entre 11% y 20% de aceite en peso. Según el estudio realizado en la Universidad de Nevada en Reno, el biodiésel proveniente de esta materia prima presentó una gran estabilidad oxidativa, a pesar de esto, se ve afectado por los altos niveles de azufre.

E. 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 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, cacahuete, etc. Algunas de estas plantas, en especial el ricino y las variedades oleaginosas del lino, se cultivan solamente por su aceite. (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 Macre. 1985)

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 de café y su posterior análisis. Las propiedades típicas que conforman el aceite de café son: (Clarke y Macre. 1985)

Tabla 8. Composición promedio de lípidos en el aceite de café

Triglicéridos	75.2
Ésteres de ácidos grasos y alcoholes	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

(Clarke y Macre. 1985)

Si se desea obtener un estudio detallado sobre la composición química del aceite de café, es necesaria una extracción directa con solvente. El rendimiento que se llega a obtener por la extracción con solvente dependerá del tamaño de partícula en la que se encuentre el café. (Folstar *et al.* 1975)

Tabla 9. 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

(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)

En la siguiente tabla se encuentran descritas las características más importantes del aceite del café, éstas fueron determinadas por los procedimientos usuales. Se atribuyen los valores altos de número de 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 10. Propiedades químicas del aceite de café

Características	Datos nuevos	Datos de 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	
Grasos totales	94.11	79.7-90.5
Número de yodo de ácidos insaturados	153.61	
Materia insaponificable. %	12.63	6.87-13.5
Número de yodo de materia saponificable	153.8	

(Schuette *et al.* 1934)

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

Tabla 11. Propiedades físicas determinadas experimentalmente al aceite de café tipo Genuino Antigua.

Característica	Tueste oscuro	Tueste claro
Densidad, 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, 26.2°C	1	1
Gravedad específica 25/25°	0.9653	0.9512

(Ramírez. 2008)

Tabla 12. 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

(Ramírez. 2008)

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

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 función de la cadena carbonada, diferenciándose los ácidos grasos saturados, los monoinsaturados con un doble enlace y los poliinsaturados con dos o más enlaces. (Clarke. 1985)

Figura 1. 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

(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 cierta 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 grasas y aceites pueden separarse por un tratamiento de refinación.

Tabla 13. 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

(Ramírez. 2008)

F. Extracción Soxhlet

La extracción es una operación básica de laboratorio. Es la acción de separar con un líquido, una fracción específica de una muestra, dejando el resto lo más íntegro posible. Esta se puede realizar desde los tres estados de la materia: sólido-líquido, líquido-líquido, gas-líquido. (Nuñez. 2008). La extracción Soxhlet se basa en la extracción sólido-líquido. Se fundamenta en las siguientes etapas:

1. Colocación del solvente en un balón
2. Ebullición del solvente que se evapora hasta un condensador a reflujo
3. El condensado cae sobre un cartucho poroso el cual contiene la muestra de interés
4. Ascenso del nivel del solvente cubriendo el cartucho hasta un punto en que se produce el reflujo y cae la mezcla del solvente con el material extraído en el balón.
5. Se repite el proceso la cantidad de veces necesaria hasta que la muestra quede agotada. Lo extraído se concentra en el balón del solvente. (Nuñez. 2008)

La operación inicia con la preparación de la muestra. Cada sistema de trabajo tiene su forma de preparación. Con frecuencia se divide en fragmentos de mayor o menor tamaño. La muestra se pesa y se carga el cartucho. El cartucho consiste en un recipiente cilíndrico con base semiesférica para que apoye perfectamente en la base del equipo extractor y sea más resistente. Los materiales más utilizados son algodón y porcelana porosa. Los cartuchos se llenan hasta la mitad o un poco más y, en lo posible, se evita comprimir la muestra para que no se vea impedida la difusión. (Nuñez. 2008)

La cantidad de solvente debe ser la necesaria para que al ascender al cartucho y antes de que se haga la sifoneada, no quede seco el balón inferior. Durante la operación hay pérdidas de solvente por lo cual se debe agregar por lo menos una cantidad semejante en exceso. Una característica importante en cuanto al tipo de solventes es que los de carácter no polar suelen tener alguna dificultad en sifonear puesto que no mojan el vidrio. Ello es frecuente con los derivados clorados como el diclorometano y el cloroformo y los hidrocarburos superiores al hexano. En los casos en que se utiliza mezcla de solventes, como en la extracción de la madera, es imprescindible trabajar con mezclas azeotropicas porque, de otra forma, la extracción sería heterogénea en cuanto a la composición del solvente. (Nuñez. 2008).

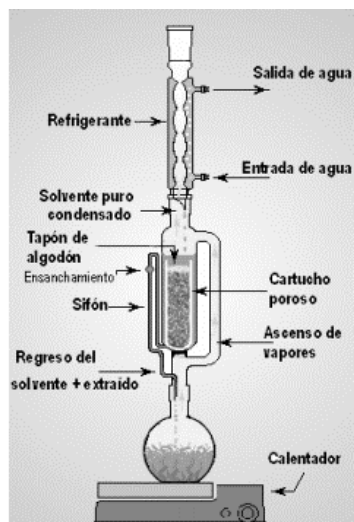
A continuación, se listan los solventes más utilizados para la extracción: (Nuñez. 2008)

Tabla 14. Solventes utilizados en extracción soxhlet

Solvente	Punto de ebullición °C
Éter	35
Diclorometano	40
Éter de petróleo	35-50
Cloroformo	62
Metanol	65
Etanol-Benceno	65
Hexano	69
Etanol tolueno	73
Acetato de etilo	77
Etanol	78
Benceno	80
Ciclohexano	81
Ácido fórmico	101
Dioxano	102
Tolueno	111

(Nuñez. 2008)

Figura 2: Sistema de Extracción Soxhlet



(Nuñez. 2008)

Extracción de aceite de café. Distintos solventes han sido evaluados en la extracción de aceite. Se ha utilizado el equipo Soxhlet para llevar a cabo la extracción. Es importante mencionar que actualmente se han utilizado 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 son: (Caetano *et al.* 2012)

Figura 3. Extracción de aceite de café utilizando distintos solventes y mezcla de ellos.

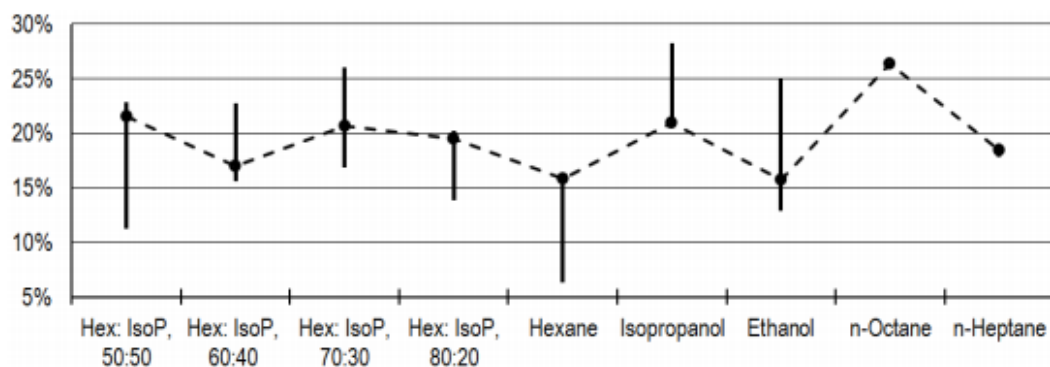
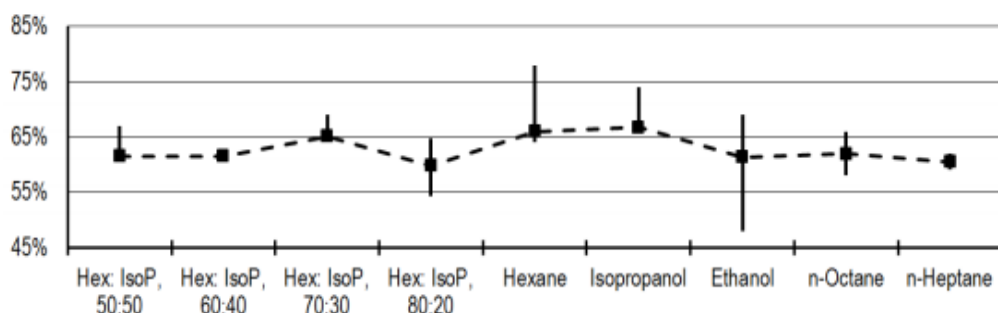
(Caetano *et al.* 2012)

Figura 4. Recuperación de solventes utilizando distintos solventes y mezclas de ellos.

(Caetano *et al.* 2012)

El solvente que permite la mayor recuperación de aceite es el octano, sin embargo, es el solvente que más tiempo toma para terminar la extracción y uno de los que tiene una tasa de recuperación más baja. Por otro lado, el etanol y hexano tienen una menor recuperación de solvente con el menor y el segundo mayor tiempo de extracción, respectivamente. El hexano es uno de los solventes con mayor recuperación. El isopropanol muestra una mejor opción en cuanto a la extracción y recuperación de solvente, seguido de la mezcla entre isopropanol y hexano 50:50 (v/v), la cual da una mayor extracción de aceite con un porcentaje de recuperación bajo. (Caetano *et al.* 2012)

G. Biodiésel

El biodiésel es un combustible líquido que se describe químicamente como una mezcla de ésteres de alquilo, un metilo o etilo, con cadenas largas de ácidos grasos. Este se produce a partir de materias renovables, como lo son los aceites vegetales y las grasas animales, actualmente sustituye parcialmente al diésel de petróleo en los motores diésel. (Pisarello. 2012)

Este biocombustible es fácilmente biodegradable, no es tóxico, mejora la vida útil del motor debido a su lubricidad y es más seguro para manipularlo y transportarlo ya que presenta un mayor punto de ignición. Para que el biodiésel se convierta en una alternativa energética real, es necesario que presente características equivalentes a las del petrodiésel, y que en el proceso de obtención se consigan balances energéticos positivos. (Pisarello. 2012)

El prefijo bio- hace referencia a la 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 de 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 las emisiones de azufre (SO₂) del diésel. (Uribe. 2010). El biodiésel es un combustible oxigenado, por eso tiene una combustión completa y produce menos gases contaminantes en comparación al diésel. Tiene un punto de inflamación relativamente alto (150°C) que le hace menos volátil y más seguro de transportar que el diésel. (Uribe. 2010). El biodiésel se puede obtener por:

1. Transesterificación de aceite virgen vegetal, que es la forma más utilizada a nivel mundial.
2. Transesterificación de triglicéridos y esterificación de ácidos grasos simultáneamente a partir de aceites usados y grasas animales. (Bengoagorostiza. 2012)

Tabla 15. 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 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

(Uribe. 2010)

H. Transesterificación de aceites

La vía comúnmente utilizada para sintetizar biodiésel es mediante una reacción de transesterificación, en la cual un triglicérido reacciona con un alcohol en presencia de un catalizador. Es recomendable emplear un exceso de alcohol para favorecer el equilibrio hacia la formación de biodiésel. (Medina. 2012)

El producto recuperado se separa en dos fases para eliminar el glicerol, el producto obtenido es el biodiésel, el cual se destila para quitar el excedente de alcohol y reutilizarlo. Seguidamente, los ésteres son sometidos a procesos de purificación que consisten en el lavado con agua e incluso, secado al vacío y filtración. (Medina. 2012)

Entre las variables que afectan el rendimiento y pureza de la producción de biodiésel están: pureza de reactivos, tiempo de mezclado, temperatura de reacción, concentración, tipo de catalizador utilizado y relación en masa de la cantidad de metanol y aceite empleado. (Medina. 2012)

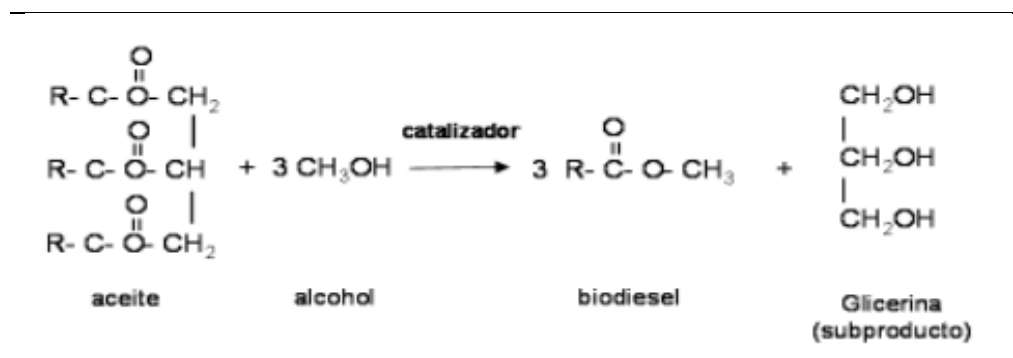
Es necesario el uso de catalizadores para que ocurra la reacción que produce el biodiésel. Los catalizadores pueden ser ácidos, básicos o enzimáticos, siendo los catalizadores básicos los que se utilizan a nivel industrial en la transesterificación, ya que actúan mucho más rápido y permiten operar en condiciones moderadas, entre estos se encuentran el NaOH y KOH. Estos catalizadores son económicos y presentan elevados porcentajes de conversión, sin embargo, su uso conlleva a complejos procesos de purificación del biodiésel, además de ser altamente corrosivos. (Medina. 2012)

La catálisis ácida no ha sido muy explorada debido a sus prolongados tiempos de reacción, sin embargo, cuando la materia prima utilizada presenta alto porcentaje de ácidos grasos libres, la catálisis ácida es la mejor opción para producir biodiésel. El catalizador mayormente usado es el ácido sulfúrico H_2SO_4 . (Medina. 2012)

La catálisis enzimática se ha explorado recientemente y se ha podido observar que se pueden obtener resultados relevantes en sistemas acuosos y no acuosos. Las ventajas que presenta el uso de estos catalizadores son las siguientes: pueden emplearse materias primas de baja calidad ya que el catalizador es sensible a la presencia de agua y AGL, el glicerol se puede separar fácilmente y también los AGL contenidos en el aceite se pueden convertir en ésteres alquílicos. Entre sus

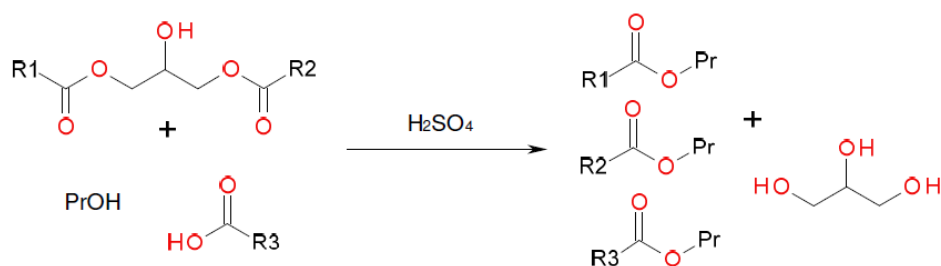
desventajas se tiene su elevado costo. (Medina. 2012)

Figura 5. Reacción de transesterificación para producción de biodiésel



(Pahl. 2008)

Figura 6. Reacción de esterificación en medio ácido para producción de biodiésel



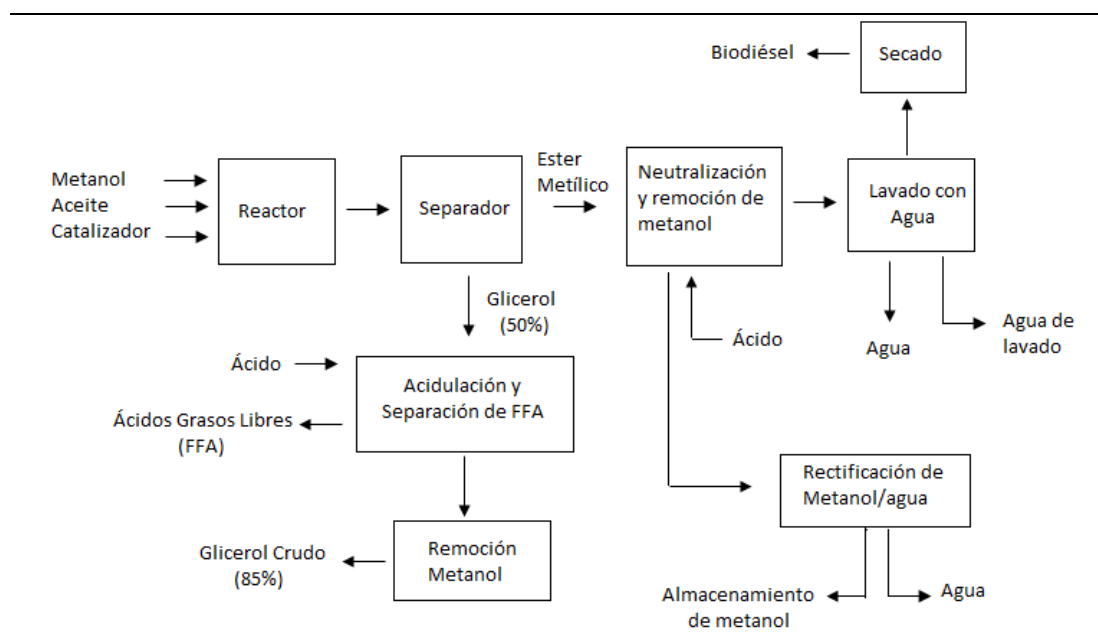
(Don Blandt *et al.* 2010)

I. Producción de biodiésel en la industria

La química descrita anteriormente constituye la base de la producción industrial del biodiésel, además el procesamiento y la calidad del mismo están relacionadas entre sí. Los procesos utilizados para refinar la materia prima y convertirla en biodiésel determinan si el combustible cumplirá con las especificaciones aplicables. (Knothe *et al.* 2005)

En Estados Unidos la mayor cantidad de biodiésel se produce con el uso de aceite de soja o aceites de cocina usados con metanol basados en la prueba estándar de calidad del biodiésel ASTM D 6751-02. (Knothe *et al.* 2005)

Figura 7. Esquema de la producción de biodiésel por catálisis básica a nivel industrial

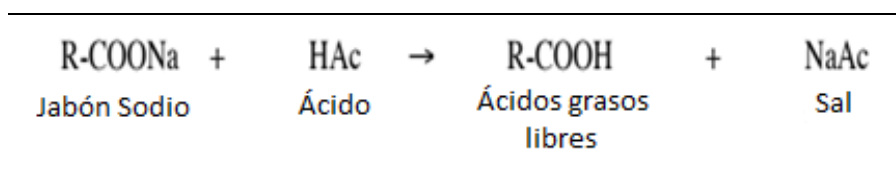


(Knothe *et al.* 2005)

El alcohol, el catalizador y el aceite se combinan en un reactor y se mezclan durante una hora a 60°C. Las plantas pequeñas a menudo utilizan reactores discontinuos, pero la mayoría de plantas grandes (> 4 millones de L/año) utilizan procesos de flujo continuo con reactores de tanque agitado (CSTR) o reactores de flujo pistón. En algunas ocasiones la reacción es realizada en dos etapas. En la primera, se mezcla un 80% de alcohol y de catalizador con el aceite en un reactor CSTR. Luego, la corriente de este reactor remueve el glicerol previo a introducirse en un segundo CSTR. El 20% restante del alcohol y del catalizador se agrega en este segundo reactor. Este sistema proporciona una reacción completa, con el potencial de utilizar menor cantidad de alcohol en comparación con los sistemas de una sola etapa. (Knothe *et al.* 2005)

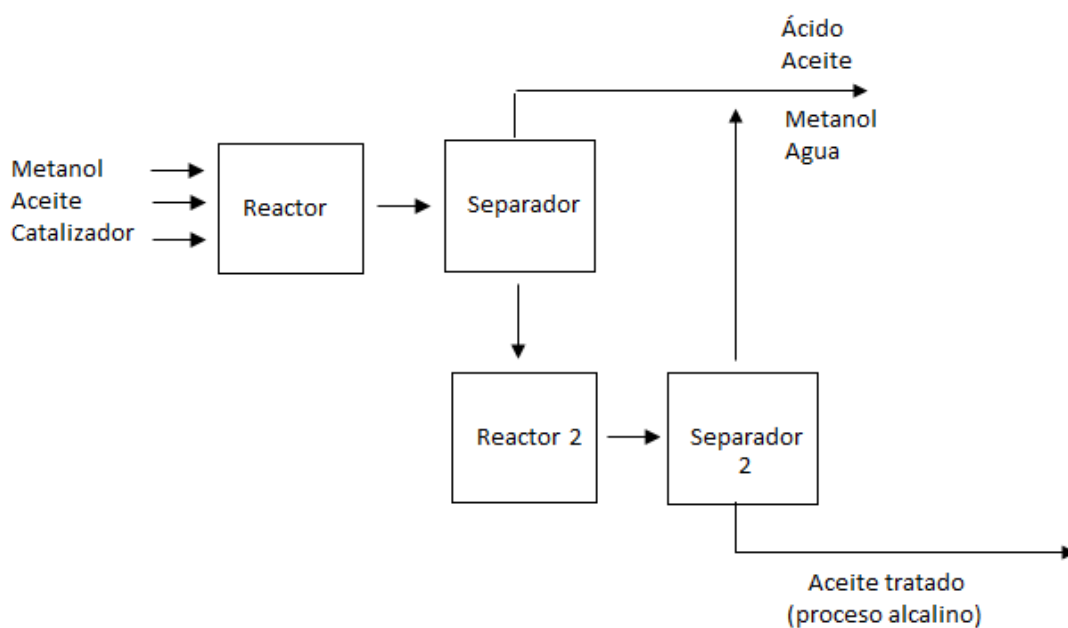
Luego de la reacción, el glicerol se remueve del metil ester, la separación ocurre generalmente con bastante rapidez, el exceso de metanol tiende a actuar como un solubilizado y puede retardar la separación de las fases. Se debe agregar agua a la mezcla luego de haber realizado la transesterificación para mejorar la separación del glicerol. Luego de la separación del glicerol, el metil ester se neutraliza y pasa a un separador de metanol, normalmente un evaporador descendente, esto se realiza antes de ser lavado con agua. Se agrega ácido al biodiesel producido para neutralizar los residuos del catalizador y dividir cualquier jabón que se pudo haber formado durante la reacción. Los jabones reaccionan con el ácido formando sales solubles en agua y FFA de acuerdo a la siguiente ecuación: (Knothe *et al.* 2005)

(Ecuación 1)

(Knothe *et al.* 2005)

Las sales se remueven durante el lavado con agua y los FFA permanecen en el biodiesel. El lavado con agua se realiza para remover residuos del catalizador, jabón, sales, metanol o glicerol presentes en el biodiesel. La neutralización, luego del lavado, reduce la cantidad de agua y minimiza las emulsiones que se forman al agregar agua al biodiesel. El agua se remueve del biodiesel con secado. (Knothe *et al.* 2005)

Figura 8. Proceso de pretratamiento de materias primas altas en ácidos grasos libres (FFA)

(Knothe *et al.* 2005)

Este proceso es utilizado como un pretratamiento para convertir FFA a metil ésteres con el objetivo de reducir el valor de los FFA. Luego de reducir los FFA se separa el alcohol y el agua y se somete el aceite a una catálisis básica para convertir los triglicéridos a metil ésteres.

1. Calidad del biodiésel

El criterio principal para la calidad del biodiésel se basa en los estándares apropiados. Generalmente la calidad del biodiésel se ve influenciada por varios factores, incluyendo la calidad de la materia prima, el ácido graso, la composición del aceite vegetal o la grasa animal, el proceso de otros materiales utilizados y parámetros de postproducción.

Algunas propiedades en los estándares, como el número de cetanos y densidad, reflejan las propiedades de los compuestos químicos del biodiésel. Generalmente los parámetros dados de la ASTM D6751 están definidas por otros estándares de la ASTM y estos en EN14214, estándares europeos o Internacionales (ISO). Sin embargo, otros métodos, como los desarrollados por organizaciones oleoquímicas profesionales como la American Oil Chemists' Society (AOAC), son adecuados o más apropiados, ya que son desarrollados para grasas y aceites y no para materiales derivados del petróleo. A continuación, se muestran algunos estándares de calidad para el biodiésel. (Knothe *et al.* 2005)

Tabla 16. Estándares para Biodiésel ASTM D6751 (United States)

Propiedad	Método	Limites	Unidades
Punto de inflamabilidad	D 93	130 min	°C
Agua y sedimentos	D 2709	0.050 máx.	% volumen
Viscosidad cinemática, 40°C	D 445	1.9-6.0	mm ² /s
Cenizas de sulfato	D 874	0.020 máx.	% masa
Sulfuro	D 5453	0.0015 máx o 0.05 máx ^a .	% masa
Corrosión del cobre	D 130	No. 3 máx.	
Número de cetano	D 613	47 min	
Punto nube	D 2500	Reporte	°C
Residuos de carbón (muestra 100%)	D 4530	0.050 máx.	% masa
Número ácido	D 664	0.80 máx.	mg KOH/g
Glicerina libre	D 6584	0.020 máx.	% masa
Glicerina total	D 6584	0.240 máx.	% masa
Contenido de fósforo	D 4951	0.001 máx.	% masa
Temperatura de destilación, temperatura atmosférica equivalente, 90% recuperación	D 1160	360 máx.	°C

^a Los límites son de Grade S15 y Grada S500 biodiésel, respectivamente. S15 y S500 se refieren a las especificaciones máximas de sulfuro (ppm)
(Knothe *et al.* 2005)

Tabla 17. Estándares europeos para biodiésel EN 14213

Propiedades	Método	Límites		Unidades
		Min.	Max.	
Contenido de esteres	EN 14103	96.5		% (m/m)
Densidad, 15°C	EN ISO 3675			
	EN ISO 12185	860	900	kg/m ³
Viscosidad, 40°C	EN ISO 3104 ISO			
	3105	3.5	5.0	mm ² /s
Punto de inflamabilidad	EN ISO 3679	120		°C
Contenido de sulfuro EN ISO 20884	EN ISO 20846		10	mg/kg
Residuos de carbón (10% residuos)	EN ISO 10370		0.3	% (m/m)
Cenizas de sulfato	ISO 3987		0.02	mg/kg
Contenido de agua	EN ISO 12937		500	mg/kg
Contaminación total	EN 12662		24	mg/kg
Estabilidad oxidativa, 110°C	EN 14112	4.0		h
Número ácido	EN 14104		0.5	mg KOH/g g yodo/100 g
Valor de yodo	EN 14111		130	g
Contenido de FAME con más de 4 dobles enlaces			1	% (m/m)
Contenido de monoglicerido	EN 14105		0.8	% (m/m)
Contenido de diglicerido	EN 14105		0.2	% (m/m)
Contenido de triglicéridos	EN 14105		0.2	% (m/m)
Glicerina libre	EN 14105, EN 14106		0.02	% (m/m)
Punto de obstrucción del filtro frío	EN 116			°C
Punto de congelación	ISO 3016		0	°C
Valor de calentamiento	DIN 51900-1	35		MJ/kg
	DIN 51900-2			
	DIN 51900-3			

(Knothe *et al.* 2005)

Tabla 18. Estándares brasileños para biodiésel ANP

Propiedades	Límites	Métodos
Punto de inflamabilidad °C	100 min	ISO/CD 3679
Agua y sedimentos	0.02 máx	D 2709
Viscosidad, 40°C (mm ² /s)	ANP 310 ^b	D 445; EN/ISO 3104
Cenizas de sulfato (% m/m) ^a	0.02 máx	D 874; ISO 3 987
Sulfuro (% m/m)	0.001 máx	D 5453; EN/ISO 14596
Corrosión de cobre, 3h, 50°C. ^a	No. 1 máx	D 130; EN/ISO 2160
Número de cetanos	45 min	D 613; EN/ISO 5165
Punto nube, ^a	ANP 310 ^b	D 6371
Residuos de carbón	0.05 máx	D 4530; EN/ISO 10370
Número ácido, a (mmKOH/g)	0.80 máx	D 664; EN 14104
Glicerina libre (% m/m)	0.02 máx	D 6854; EN 14105-6
Glicerina total (% m/m)	0.38 máx	D 6854; EN 14105
Recuperación destilado 95% (°C)	360 máx	D 1160
Fosforo (mg/kg)	10 máx	D 4951; EN 14107
Gravedad específica, ^a	ANP 310 ^b	D 1298/4052
Alcohol (% m/m)	0.50 máx	EN 14110
Número de yodo	Tomar nota	EN 14111
Monogliceridos (% m/m)	1.00 máx	D 6584; EN 14105
Digliceridos (% m/m)	0.25 máx	D 6584; EN 14105
Trigliceridos (% m/m)	0.25 máx	D 6584; EN 14105
Na + K (mg/kg)	10 máx	EN 14108-9
Estabilidad de oxidación 110°C. (h)	6 min.	EN 14112

^a Brasil ABNT NBR los métodos son disponibles para las propiedades^b ANP 310 = especificaciones para petrodiesel(Knothe *et al.* 2005)

V. METODOLOGÍA

El método empleado para la extracción de aceite del poso de café fue el de extracción por solventes con una mezcla de isopropanol-hexano 50-50% v/v utilizando un equipo Soxhlet. El método empleado para la producción de biodiésel fue la esterificación en medio ácido.

La metodología incluyó la recolección del poso de café, realizar el secado del mismo, la extracción del aceite por medio de una mezcla de solventes, pruebas de calidad del mismo, seguido de la destilación para separar el aceite de los solventes, esterificación en medio ácido para la producción de biodiésel y evaluación por medio de la prueba 3/27.

A. Recolección y almacenamiento del poso de café

Durante el mes de junio, cada dos semanas, se recolectó un promedio de 800.0 ± 0.5 g de poso de café de tueste oscuro proveniente de las máquinas de espresso de “&CAFÉ” de Guatemala. A esta tienda se le proporcionó recipientes cerrados y etiquetados por fecha para que se llenaran por día. Se recolectaron los recipientes diariamente y se trasladaron hacia el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala, las muestras se almacenaron en un refrigerador de (3 a 5°C). Se utilizó el poso de café antes de cumplir los cinco días de haberlo recolectado para evitar el uso de poso de café contaminado con microorganismos.

B. Secado del poso de café

Se realizaron dos corridas. El equipo utilizado se encuentra detallado en la sección de apéndice en Tabla 28

Al tener la cantidad de 800.0 ± 0.5 g de poso de café se procedió a tomar la humedad inicial del mismo en la balanza de humedad. Para iniciar el secado se utilizaron cuatro bandejas de acero galvanizado (53.0 x 32.5 cm) recubiertas de papel de aluminio y sobre las mismas se colocó el poso de café formando una capa de 2 cm de espesor. Al terminar de cubrir las bandejas, se colocaron dentro del deshidratador de gabinete de convección y se estableció una temperatura de $100.0 \pm 0.5^\circ\text{C}$, se dejaron secar durante cinco horas, al transcurrir las cinco horas se sacaron tres muestras de aproximadamente de 1.0000 ± 0.0001 g, se midió la humedad para verificar que se encontrara entre 2 a 6%. Se suspendió el secado y se procedía a dejar enfriar las muestras a

temperatura ambiente. Luego se almacenó el poso de café en bolsas plásticas dentro de recipientes cerrados. Se almacenaron dentro del Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala. En el caso que la humedad no se encontrara en el rango establecido, se continuaba el secado, verificando la humedad cada media hora hasta alcanzar el rango mencionado. Al terminar se procedía a apagar el equipo. (El secado se realizó dos veces en el mes).

C. Tamizado del poso de café

Se realizaron tres corridas. El equipo utilizado se encuentra detallado en la sección de apéndice en la Tabla 31

Luego del secado se prosiguió a realizar el tamizado, para ello se tomó nuevamente la humedad para asegurar que esta estuviera dentro del rango establecido. Luego de eso se tomaron tres muestras de 200.0000 ± 0.0001 g para hacer el análisis granulométrico. Para el análisis, se tamizó en un equipo ROTAP, con un banco de tamices No. 20, 30, 45, 60, 80, 100, durante quince minutos para separar las partes finas de las gruesas. Se tamizaron las muestras una por una y se determinaron las masas en cada uno de los tamices. Se determinó el porcentaje de sólidos retenidos por medio de la masa retenida en cada tamiz y la masa inicial.

D. Extracción de aceite de café por mezcla de solventes

Se realizaron treinta y ocho corridas. El equipo y cristalería utilizada se encuentra detallado en la sección de apéndice en Tabla 35

Se procedió a elaborar cartuchos Soxhlet con papel filtro, luego se colocó dentro de ellos una muestra de 10.0000 ± 0.0001 g de poso de café y se colocó el cartucho dentro del cuerpo del Soxhlet. Luego se agregaron 60.0 ± 0.5 mL hexano y 60.0 ± 0.5 mL de isopropanol dentro de un balón esférico de fondo plano junto con un agitador magnético. El balón esférico se colocó en una estufa para llegar a la temperatura de ebullición de la mezcla siendo esta de 75°C (determinada experimentalmente)

Se armó el sistema como se indica en la Figura 17, colocando el cuerpo del Soxhlet sobre el balón y por encima el condensador en el cual se utilizó agua como refrigerante. Una vez armado, se calentó hasta 75 ± 0.5 °C, observando cómo el aceite es extraído por el cambio de coloración. Cada extracción duro tres horas, teniendo cinco recirculaciones en el Soxhlet. Al finalizar la corrida

se dejaba enfriar la muestra para ser retirada y se almacenaba en recipientes de vidrio, se retiraba el cartucho Soxhlet y se colocaba otra muestra para la siguiente corrida.

Para determinar los costos de esta operación se tomó en cuenta: precio del poso de café, para el cual se tomó como referencia que el precio de 1 lb (453.59 g) de poso de café era equivalente al 5% del precio de 1lb (453.59 g) de café molido, el precio del hexano e isopropanol en el mercado, precio de los cartuchos utilizados, tomando en cuenta que de un pliego se obtenían doce cartuchos, costo del agua utilizada como refrigerante, para el cual se determinó el caudal que se utilizó y el costo por m³ establecido por EMPAGUA, costo del consumo de electricidad y costo de los equipos, tales como el kit Soxhlet y la estufa eléctrica, los cuales se obtuvieron por el método de depreciación de los mismos.

E. Destilación de aceite de café

Se realizaron diecinueve corridas. El equipo y cristalería utilizada se encuentra detallado en la sección de apéndice en la Tabla 36

Se procedió a realizar la destilación para separar el aceite de la mezcla de solventes. Para ello se colocaron 120.0±0.5 mL del extracto en un balón de tres bocas y se armó el sistema de destilación como se indica en la Figura 21. Se utilizó agua como refrigerante para el condensador, y el balón con la muestra se dejó en contacto directo con la estufa. Esto se modificó en las últimas tres corridas, para las cuales se utilizó un baño de arena, como se indica en la Figura 22, para controlar mejor la temperatura del balón y evitar que el aceite se quemara. Se destilo a una temperatura entre 65±0.5 °C y 75±0.5 °C. Después de haber transcurrido 45 minutos se agregaron 120.0±0.5 mL del extracto para continuar y completar la destilación. Finalmente, se removió la mezcla de solventes para su uso posterior.

Una vez terminada la destilación, se colocó el aceite destilado en un beaker de 50 mL y se calentó por 20 minutos a 65°C, con agitación constante para remover cualquier resto de solventes. El aceite obtenido se filtró al vacío, para remover cualquier sólido o impureza, y luego se almaceno en recipientes de vidrio. Cabe mencionar que antes de realizar la filtración se realizó el análisis de porcentaje de solidos presentes en el aceite obtenido de los dos sistemas de destilación armados.

Para determinar los costos de esta operación se tomó en cuenta: el costo del agua utilizada como refrigerante, para lo cual se determinó el caudal que se utilizó y el costo por m³ establecido

por EMPAGUA, el costo del consumo de electricidad, el costo de las 48 extracciones y el costo de los equipos, como el kit de destilación y la estufa eléctrica, los cuales se determinaron a través del método de depreciaron.

F. Caracterización

1. Prueba de número ácido

La prueba se realizó una sola vez en triplicado.

El procedimiento seguido se basó en el método empleado por la AOAC 940.28. Para el mismo se prepararon dos soluciones de 0.1M y 0.25M de KOH, posterior a esto se agregó, en un Erlenmeyer de 250±125 mL, 75.0±0.5mL de etanol y 3 gotas de fenolftaleína, luego se agitó para homogenizar la solución. Se agregó la solución 0.1M en una bureta y se tituló, para neutralizar el alcohol, hasta obtener el color rosa pálido. Se anotó la cantidad de mL de KOH utilizados para neutralizar. Luego se agregó una gota de aceite previamente pesada y se agitó de nuevo la solución, se tituló con la solución 0.25M de KOH por medio de una bureta, hasta llegar a la coloración del rosa pálido. Se anotó la cantidad de mL utilizados para la titulación. Con el volumen del hidróxido de potasio se logró obtener el número ácido.

$$\text{Número ácido} = \frac{\text{KOH}(mL) * M(\text{KOH}) * PM\text{KOH} (mg)}{\text{Masa aceite} (g) * 1000}$$

(Ecuación 2)

2. Prueba de densidad del aceite

La prueba se realizó una sola vez en triplicado.

El procedimiento seguido se basó en el método empleado por la AOAC 985.19. Para ello se utilizó un picnómetro de 25.0±12.5 mL el cual se detalla en la sección de apéndice en Tabla 34

Para llevar a cabo la muestra se lavó y seco el picnómetro, luego se determinó la masa de este y se anotó, se agregó agua destilada y se determinó la masa nuevamente, por diferencia de masas se determinó la masa de agua en gramos. Posterior a esto, se vació el

picnómetro, se lavó y seco nuevamente. Seguido de esto se prosiguió a agregar el aceite en el picnómetro hasta que estuviera completamente lleno, se determinó la masa del picnómetro con el aceite y por diferencia de masas se determinó la masa de aceite en gramos.

Para determinar la densidad del aceite se calculó el volumen del picnómetro con la siguiente formula. Donde “m” es la masa del agua y “ρ” es la densidad del agua.

$$V = \frac{m}{\rho}$$

(Ecuación 3)

Y, posteriormente, se determinó la densidad del aceite con la siguiente formula. Donde, “Wp” es peso del líquido problema y “V” es el volumen del picnómetro.

$$\rho L = \frac{W_p}{V}$$

(Ecuación 4)

3. Índice de refracción

La prueba se realizó una sola vez en triplicado.

El procedimiento seguido se basó en el método empleado por la AOAC 985.19. Para ello se utilizó un refractómetro el cual se detalla en la sección de apéndice en la Tabla 32.

Se procedió a encender el refractómetro y se esperó a que la temperatura estuviera estable. Se realizó la prueba a una temperatura promedio de $20.0 \pm 0.5^\circ\text{C}$. Para evitar la contaminación de la muestra se limpió el refractómetro con agua destilada, luego se agregó una gota de aceite en el lente y se tapó, se analizó la muestra y se reportó el valor, el cual fue anotado. Para cada corrida se debe limpiar el lente con agua destilada.

4. Porcentaje de sólidos suspendidos

La prueba se realizó una sola vez en triplicado.

El procedimiento seguido se determinó en la Universidad del Valle de Guatemala. Para la prueba se tararon tres tubos de ensayo y se agregó una cantidad de 3.0000 ± 0.0001 g de aceite en cada uno de ellos. Los tres tubos de ensayo se introdujeron en una centrifuga y se

cerró. Se programó la centrifuga para que girara a una velocidad de 2.5 rpm durante 10 minutos.

Al finalizar el tiempo, se sacaron los tubos de ensayo y se decantó el aceite, dejando únicamente los sólidos depositados en el fondo de estos, luego se prosiguió a pesarlos, y por diferencia de masas se determinó el porcentaje de sólidos presentes en el aceite.

5. Prueba de pH

La prueba se realizó una sola vez en triplicado.

Para ello se utilizó papel indicador de pH. Se sumergió papel pH en el aceite extraído y se esperó a observar la coloración. Se observó el cambio de color y se comparó con el color de pH respectivo el cual se observó en el mismo set de pH.

G. Producción de biodiésel a partir del aceite obtenido de la extracción

Se realizaron cuatro corridas. El equipo y cristalería utilizada se encuentran detallados en la sección de apéndice en la Tabla 37.

Se procedió a realizar la reacción en medio ácido para producir biodiesel. Se inició armando el sistema para la reacción como se indica en la Figura 30, se utilizó agua como refrigerante. Luego se colocó, en el balón de tres bocas del sistema, un agitador magnético y 8.0 ± 0.5 mL de 1-propanol al 95% con 0.15 ± 0.01 mL de ácido sulfúrico al 99% y se agitó. Después de mezclarlo se agregó 20 ± 0.5 mL de aceite extraído y se calentó a 65°C con reflujo y agitación durante tres horas. Luego de cumplir las 3 horas de reacción, se dejó enfriar la solución y se transfirió a un tubo de ensayo en el cual se dejó reposar por 24 horas. Por último, se observó la separación de las fases por lo cual se prosiguió a remover la fase superior y dejar en el tubo de ensayo la fase inferior. Se lavó la capa superior con tres porciones de 15.0 ± 0.5 mL de una solución 1M de NaCl. Luego de las lavadas se separó la fase superior y almacenó para realizar la prueba 3/27 de biodiésel.

Para determinar los costos de esta etapa se tomó en cuenta: el costo de la cantidad de metanol y ácido sulfúrico utilizados, el costo y la cantidad de aceite extraído que se utilizó, el costo del agua utilizada como refrigerante, sabiendo que se tuvo un caudal de $0.157 \text{ m}^3/\text{h}$, el costo del consumo de electricidad y el costo de los equipos, como el kit de destilación y la estufa eléctrica, los cuales se determinaron a través del método de depreciaron.

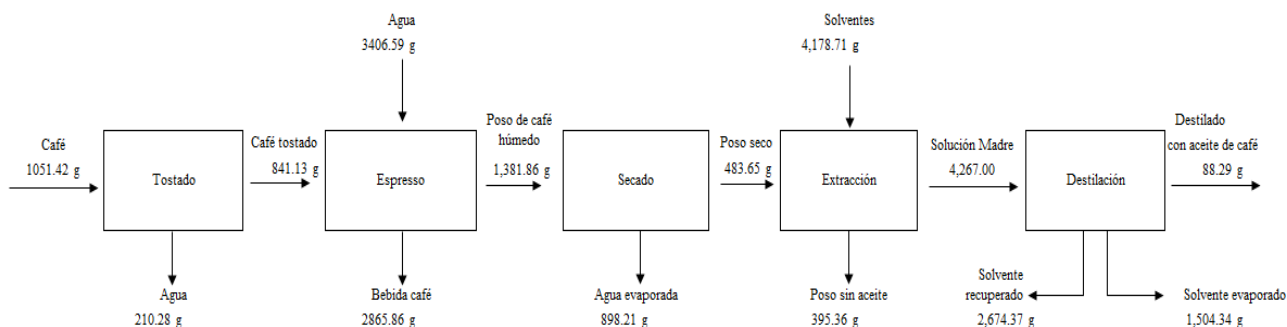
1. Prueba 3/27 para biodiésel

La prueba se realizó una sola vez en triplicado.

Se inició lavando y secando tres tubos de ensayo. Luego se agregó 27.0 ± 0.5 mL de metanol y 3 ± 0.5 mL de la fase superior, que se almacenó anteriormente, y se agitó. Se observó que el fluido de análisis no se disolvió en metanol. Por lo cual la prueba fue negativa.

VI. RESULTADOS

Figura 9. Diagrama de bloques con balance de masa del proceso realizado para obtener el destilado con aceite de café.



Fuente: Elaboración propia

Notas:

1. Los solventes utilizados fueron hexano-isopropanol 50-50% v/v
2. La solución madre contiene el aceite extraído del poso de café mezclado con los dos solventes utilizados.
3. Los datos de la etapa de tostado y Espresso fueron proporcionados por la tienda &café de Guatemala, los datos experimentales fueron de las etapas de: secado, extracción y destilación.

Tabla 19. Porcentaje promedio total de aceite de café extraído de 38 extracciones y 19 destilaciones.

Porcentaje promedio total de aceite (m/m) $\pm 0.01\%$	Porcentaje aceite (m/m) según Caetano et al. 2012	Rendimiento $\pm 0.01\%$
19.26	21.0	91.71

Fuente: Elaboración propia

Notas:

1. Para obtener el porcentaje se tomó en cuenta los dos sistemas de destilación utilizados.

Tabla 20. Porcentaje promedio en masa del aceite de café obtenido de las extracciones y destilaciones realizadas en el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala.

Sistema	Masa total de poso de café (± 0.0001 g)	Masa total de aceite extraído (± 0.0001 g)	% m/m de aceite (± 0.01 %)
1	392.0325	69.6271	18.15
2	91.6146	18.6597	20.37

Fuente: Elaboración propia

Notas:

1. Para el sistema 1 se utilizó destilación simple y para el sistema 2 destilación con baño de arena.
2. Para el sistema 1 se realizó una cantidad de 32 extracciones y para el sistema 2, 6 extracciones.
3. La masa total del poso de café se refiere a la cantidad de masa utilizada en cada sistema para obtener la masa total de aceite de café descrita en la tabla.
4. La granulometría de las muestras estuvo entre 0.177 a 0.354 mm con humedad de 2.00%

Tabla 21. Rendimiento promedio (porcentaje de aceite m/m) obtenido al compararlo con el porcentaje de aceite (m/m) de la literatura citada.

Sistema	Porcentaje promedio de aceite (m/m) ± 0.01 %	Porcentaje aceite (m/m) según Caetano <i>et al.</i> 2012	Rendimiento ± 0.01 %	Características del aceite extraído
1	18.15	21.0	86.43	Color café oscuro, aroma intenso a café y a quemado
2	20.37	21.0	97.00	Color café oscuro, aroma intenso a café.

Fuente: Elaboración propia

Notas:

1. Para el sistema 1 se utilizó destilación simple y para el sistema 2, destilación con baño de arena.
2. Para el sistema 1 se realizó 32 extracciones y para el sistema 2, 6 extracciones.

Tabla 22. Comparación entre el porcentaje de recuperación de solventes obtenido experimentalmente y el reportado en la literatura citada con su respectivo rendimiento.

Porcentaje promedio de recuperación de solvente (%)	Porcentaje de recuperación de solventes según Caetano <i>et al.</i> 2012	Rendimiento $\pm 0.01\%$
64.10	61.00	105.10

Fuente: Elaboración propia

Notas:

1. Se realizó 19 destilaciones, con las cuales se determinó el porcentaje promedio de solvente recuperado.

Tabla 23. Comparación de las características físicas del destilado con aceite de café extraído con características físicas reportados de otros autores.

Característica	Valores experimentales	Valores reportados de otros autores
Densidad a 23.8°C, (g/cm ³)	0.9427 \pm 0.0005	0.923 ^(a)
Índice de refracción, 20.0 °C	1.47942 \pm 0.00003	1.478 ^(a)
pH, 22°C	6.0 \pm 0.5	4.58 ^(a)
Humedad (%)	0.1510 \pm 0.0002	0.375 ^(a)
Índice de acidez, (mg KOH/g aceite)	0.1429 \pm 0.0005	0.167 ^(b)
Sólidos suspendidos (%)	19.23 \pm 0.01	-

Fuente: Elaboración propia

Notas:

1. Los valores reportados de otros autores son de (a) Ramirez (2008) y (b) Gonzales (2015).

Tabla 24. Costo por extracción y costo total para realizar 38 extracciones por método Soxhlet

Material	Cantidad	Costo	Descripción
Hexano (L)	2.3	Q 477.25	Costo por litro Q. 207.50
Iso-propanol (L)	2.3	Q 202.40	Costo por litro Q. 88.00
Agua utilizada como refrigerante (m3)	17.90	Q 546.96	Costo por m ³ de agua, Q 30.56 Caudal utilizado 0.157 m ³ /h
Cartuchos Soxhlet	38	Q 19.00	Costo por pliego de papel filtro, Q6.00 (12 cartuchos por pliego)
Kit Soxhlet	1	Q 33.67	Costo de equipo nuevo Q 2,552.00 vida útil de 3 años.
Electricidad (kWh)	121.75	Q 175.32	Consumo eléctrico de estufa, 1.068 kWh.
Poso de café espresso (g)	483.6471	Q 2.93	Costo de 1lb de poso de café, 5% del costo de 1 lb de café
Estufa eléctricas	1	Q 32.58	Costo de equipo nuevo, Q 4,116.00 vida útil de 5 años.
Costo total		Q 1,490.13	
Costo Unitario por extracción		Q 39.21	

Fuente: Elaboración propia

Notas:

1. Cada extracción se realizó en 3 horas.
2. El costo por extracción se obtuvo sin tomar en cuenta el IVA.
3. El costo de la cantidad de reactivos utilizada se obtuvo de RGH
4. El costo por m³ de agua es de Q 30.56 según EMPAGUA, al tomar el consumo de agua de la UVG como mayor a 121 m³.
5. El costo de pliegos de papel filtro se obtuvo de Dilab.
6. El costo de energía eléctrica en tarifa no social es de Q 1.44 por kWh según EEGSA. El costo se obtuvo multiplicando el consumo eléctrico de la estufa por las horas en que se utilizó por el costo del kWh.
7. El costo de 1 lb de café es de Q 55.00. Se asumió que el 5% del costo de 1 lb de café era equivalente al costo de 1 lb de poso del mismo. 1 lb equivale a 453.59 g.
8. El costo de los equipos se obtuvo por depreciación, determinando el costo de los mismos por la cantidad horas utilizados. Se tomó como conversión (En un día se trabajan 8 horas)

Tabla 25. Costo por destilación y costo total para 19 destilaciones realizadas

Material	Cantidad	Costo	Descripción
Kit de destilación	1	Q 30.79	Costo del equipo nuevo Q3, 500.00 vida útil de 3 años.
Electricidad (kWh)	81.17	Q 116.88	Consumo eléctrico de estufa, 1.068 kWh.
Agua utilizada como refrigerante (m3)	11.93	Q 364.64	Costo por m3 de agua, Q 30.56 Caudal utilizado 0.157 m ³ /h
Estufa eléctricas	1	Q 21.72	Costo de equipo nuevo Q4,116.00 vida útil de 5 años
Extracciones	38	Q 1,490.13	Costo de 38 extracciones realizadas por método Soxhlet
Costo Total		Q 2,024.16	
Costo Unitario por destilación		Q 106.53	

Fuente: Elaboración propia

Notas:

1. Cada destilación se realizó en 4 horas.
2. El costo por destilación se obtuvo sin tomar en cuenta el IVA.
3. El costo por m³ de agua se obtuvo de EMPAGUA, al tomar el consumo de agua de la UVG como mayor a 121 m³.
4. El costo de la energía eléctrica en tarifa no social es de Q 1.44 por kWh según EEGSA.
5. El costo de los equipos se obtuvo por depreciación, determinando el costo de los mismos por la cantidad horas utilizados. Se tomó como conversión (En 1 día se trabajan 8 horas)

Tabla 26. Costo por gramo y por mililitro de aceite de café extraído.

Masa total de aceite obtenido (g)	Volumen total de aceite obtenido (mL)	Costo del aceite extraído	Costo por gramo de aceite	Costo por mL de aceite
88.2860	93.653	Q 2,024.16	Q 22.93	Q 21.61

Fuente: Elaboración propia

Notas:

1. Se utilizó la densidad del aceite para determinar el volumen total obtenido a partir de su masa.
2. Se determinó el costo por gramo dividiendo el costo del aceite extraído y la masa total de aceite, se realizó de la misma forma para el costo por mL.

Tabla 27. Costo para producir biodiésel a escala laboratorio, se realizaron 4 pruebas.

Material	Cantidad	Costo	Descripción
Metanol (mL)	32	Q 2.56	Costo por litro, Q 80.00
Ácido sulfúrico (mL)	0.6	Q 10.14	Costo por 10mL, Q 169.00
Aceite de café (mL)	80	Q 1,729.08	Costo según las extracciones y destilaciones realizadas.
Estufa eléctrica	1	Q 1.14	Costo de equipo nuevo Q 4,116.00, vida útil de 5 años.
Kit para la reacción	1	Q 1.18	Costo del equipo nuevo Q 2,552.00 vida útil de 3 años.
Agua utilizada como refrigerante (m ³)	0.63	Q 19.19	Costo por m ³ de agua, Q.30.56 Caudal utilizado 0.157m ³ /h
Electricidad (kWh)	4.272	Q 6.15	Consumo eléctrico de estufa, 1.068 kWh.
Aceite sin utilizar (mL)	13.65	Q 295.08	Aceite que sobró
Costo total		Q 2,064.53	Para realizar 4 reacciones
Costo Unitario		Q 516.13	Para una reacción

Fuente: Elaboración propia

Notas:

1. Cada reacción se realizó en 1 horas.
2. El costo por reacción se obtuvo sin tomar en cuenta el IVA.
3. El costo de la cantidad de reactivos utilizada se obtuvo de RGH
4. El costo del aceite utilizado se obtuvo por medio de los costos determinados de las extracciones y destilaciones, con ello se obtuvo el costo por gramo y por mL de aceite.
5. El costo por m³ de agua se obtuvo de EMPAGUA, al tomar el consumo de agua de la UVG como mayor a 121 m³.
6. El costo de la energía eléctrica en tarifa no social es de Q 1.44 por kWh según EEGSA.
7. El costo de los equipos se obtuvo por depreciación, determinando el costo de los mismos por la cantidad horas utilizados. Se tomó como conversión (En un día se trabajan 8 horas)

Tabla 28: Ácidos grasos identificados en el destilado con aceite de café extraído, con tiempos de retención y su respectiva área. Se utilizó el cromatógrafo de gases TURBOMASS de la Universidad de San Carlos de

Guatemala

RT	Compuesto	Área	Área %
6.22	Ácido Succínico	14,533,957.00	0.057
9.687	Ácido Palmítico	197,121,328.00	0.779
11.362	Ácido Palmítico	835,100,032.00	3.301
13.838	Ácido linolenico	242,746,464.00	0.96
14.043	Ácido Oleico	302,775,328.00	1.197
15.629	Ácido linoleico	2,187,002,368.00	8.646
16.599	Ácido Esteárico	551,465,216.00	2.18
30.33	Ácido pentadecílico	377,165,440.00	1.491
Total		4,707,910,133.00	18.611

Fuente: Elaboración propia

Notas:

1. RT se refiere al tiempo de retención de cada uno de los compuestos al realizar la cromatografía.
2. El área corresponde al área que abarca el compuesto bajo la curva mostrada en el cromatograma.
3. El porcentaje en área se refiere al que representa cada uno de los compuestos en el cromatograma del destilado.

Tabla 29: Compuestos representativos en el destilado con aceite de café debido al área que abarcan en el cromatograma. Se utilizó el cromatógrafo de gases TURBOMASS de la Universidad de San Carlos de Guatemala

RT	Compuesto	Área	Área %
8.1	Cafeína	1,191,555,968.00	4.711
11.21	10-cloro-1-decanol	958,251,200.00	3.788
	Ácido hexadecanoico		
11.36	2,4,6-trimetil-1-noneno	835,100,032.00	3.301
	Etil éster, ácido hexadecanoico		
	Etil éster, ácido linoleico		
15.63	Etil éster, ácido 9,12- octadecadienoico	2,187,002,368.00	8.646
	etil 9,12-hexadecadienoato		
16.6	etil éster, ácido octadecanoico	551,465,216.00	2.18
	17-metil, metil éster, ácido octadecanoico		
25.19	Triciclo[3.2.1.0(2,4)]octan-8-one, 3,3-dimetil-	1,788,602,624.00	7.071
30.33	5,10-Pentadecadien-1-ol, (Z,Z)- y (E,E)	377,165,440.00	1.491
	Tetracosane		
49.232	Hentriacontane	1,236,089,472.00	4.887
	1-Decanol, 2-hexyl-		
50.4	1,1,1-Tris(hidroximetil)propano	1,526,434,560.00	6.034
50.87	10-Chloro-1-decanol	1,683,383,808.00	6.655
	Sitosterol		
52.03	2,4,7,9-Tetrametil-5-decine-4,7-diol	1,189,678,208.00	4.703
52.66	2-Decanol	441,955,040.00	1.747
Total		13,966,683,936.00	55.214

Fuente: Elaboración propia

Notas:

1. RT se refiere al tiempo de retención de cada uno de los compuestos al realizar la cromatografía
2. El área corresponde al área que abarca el compuesto bajo la curva mostrada en el cronograma
3. El porcentaje en área se refiere al que representa cada uno de los compuestos en el cromatograma del destilado.
4. El resto de compuestos presentes en el destilado representan un área de 26.18% los cuales se encuentran en la sección de anexos, Figuras 34 y 35.

VII. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El objetivo principal del estudio fue extraer aceite de café a partir del poso recolectado para la producción de biodiésel, a escala laboratorio, por esterificación en medio ácido y evaluarlo como fuente viable de biocombustible.

La recolección del poso de café se realizó en recipientes cerrados e identificados por fecha para tener un orden, evitar en lo posible que las muestras se contaminaran y llevar un control para procesarlas antes de cumplir los cinco días, ya que al pasar este tiempo la muestra se contaminaba con presencia microbiológica. Se tomaron tres muestras del poso de café para determinar su humedad, la cual fue, en promedio, de $67.00\pm 0.01\%$, debido a que este valor fue muy alto se prosiguió a refrigerar las muestras a una temperatura entre 3 y 5°C , hasta tener la cantidad necesaria de poso de café para realizar el secado. La forma de almacenar el poso de café es importante ya que influye en la calidad del aceite y del biodiésel, por lo que al estar a temperaturas bajas evita que este se degrade y que pierda sus propiedades organolépticas, disminuyendo el crecimiento de microorganismos, como el moho y hongos, y la acción enzimática, retardando, de esta manera, su deterioro. Entre las características podemos destacar que el poso de café presentó un color café oscuro con aroma fuerte a café, que era proveniente de la preparación de café espresso, y presentó variedad de tamaños y un porcentaje de humedad de $67.00\pm 0.01\%$.

Las muestras del poso de café debían presentar una humedad en el rango de 2 a 6% para facilitar el proceso de extracción y retardar la descomposición de las mismas, por ello fue necesario realizar un secado para disminuir la humedad de $67.00\pm 0.01\%$ hasta el valor del rango determinado anteriormente y evitar el crecimiento de mohos y hongos, de lo contrario el residuo no hubiera sido viable para la extracción de aceite. Fue necesario homogenizar el poso de café para facilitar el secado por lo cual se redujo el tamaño de algunas muestras que estaban en grumos, comprimiéndolas con una espátula para deshacerlas. Para el secado, se utilizó un secador de gabinete (Figura 10) en el cual se introdujeron cuatro bandejas de acero galvanizado cubiertas de papel aluminio (Figura 12) en las que se esparció el poso de café en capas de 2 cm de espesor (Figura 11). Luego de esto se abrió el horno cada media hora para mover y airear el material, permitiendo de esa forma un secado uniforme. Se realizó el secado por cinco horas en un rango de temperatura entre 90 y $110\pm 0.01^{\circ}\text{C}$, al cabo de este tiempo se tomaron tres muestras de aproximadamente 1.000 ± 0.0001 g y se midió la humedad de estas en una balanza de humedad,

determinando un valor promedio de humedad de $5.00 \pm 0.01\%$ la cual se encontró dentro del rango de humedad para almacenarlo. El poso de café seco se almacenó en bolsas plásticas dentro de recipientes cerrados para evitar el incremento de la humedad en el mismo.

A menor tamaño de partícula se tiene mayor rendimiento de extracción, ya que el área de contacto entre la partícula y el solvente aumenta, mejorando, de esta manera, la extracción. Debido a esto se realizó un análisis granulométrico del poso de café para determinar y distribuir el tamaño de las partículas.

Para ello se tomaron tres lotes de 200 ± 0.0001 g de poso de café previamente secado, el cual se tamizó en un equipo ROTAP (Figura 15), con un banco de tamices No. 20, 30, 45, 60, 80 y 100. Puede observarse en tabla 48, 49 y 50, el análisis realizado en triplicado que determinó que el tamaño de partícula predominante se encuentra entre 0.177 a 0.354 mm, teniendo este último un porcentaje de retención promedio de 41.63%. Según Folstar *et al.* 1975, con una abertura de tamiz de 0.15-0.42 mm se obtienen rendimientos de extracción de 15.51 y 15.54%, Considerando el análisis realizado, se puede decir que el tamaño de partícula determinado contribuiría al rendimiento de extracción por el contacto entre el sólido y el solvente, debido a que a menor tamaño de partícula mayor área de contacto se tiene.

La extracción se realizó con un sistema Soxhlet como el que se muestra en la (Figura 18). Se realizaron en total 38 extracciones, para las cuales se utilizaron 38 cartuchos de papel filtro (Figura 16), en los que se introdujo de 10 a 15 ± 0.0001 g de muestra, utilizando un total de 483.6471 ± 0.0001 g de poso de café seco al $5.00 \pm 0.01\%$. Los cartuchos se tararon y se llenaron hasta la mitad y, en lo posible, se trató de no comprimir demasiado la muestra para evitar impedir la difusión. Se utilizó una mezcla de solventes para realizar la extracción la cual fue de 50-50% v/v de hexano-isopropanol (Figura 17), ya que el estudio realizado (Caetano *et al.* 2012), sugería esta metodología por el rendimiento de extracción. Es necesario tomar en cuenta la cantidad de solvente a utilizar en la extracción para evitar que el balón quede seco al momento en que este ascienda al cartucho y antes de que se haga el reflujo, ya que la muestra podría quemarse o se podría producir una explosión por los vapores liberados.

Para determinar el rendimiento de extracción fue necesario realizar la destilación de los solventes del aceite (Figura 21). Para ello se armaron dos sistemas, uno con destilación simple (Figuras 20, 22), en el que el balón con la muestra estuvo en contacto directo con el calor y el

segundo con destilación en baño de arena (Figura 23). Se realizaron dos sistemas debido a que en el proceso realizado inicialmente no se tenía un control de temperatura adecuado, lo cual hacía que el aceite se quemara y presentara mayor porcentaje de sólido, siendo este de $19.23 \pm 0.01\%$ (m/m), no obstante, en el segundo proceso, donde el baño de arena no permitía el contacto directo del calor hacia el balón, se evitó que el aceite se quemara y se produjera un menor porcentaje de sólidos, siendo este de $7.03 \pm 0.01\%$ (m/m). Se obtuvo un porcentaje promedio de 18.15 y $20.37 \pm 0.01\%$ m/m de aceite para los dos sistemas, y un porcentaje promedio total (m/m) de $19.26 \pm 0.01\%$ (Tablas 19 y 20). Estos resultados se compararon con el valor teórico obtenido de (Caetano *et al.* 2012), el cual es de 21.0% (m/m), por lo que el cociente de esta relación da como resultado rendimientos de 86.43 y $97.00 \pm 0.01\%$ respectivamente, con un rendimiento promedio total de $91.71 \pm 0.01\%$ (Tablas 21 y 19). La variación de los rendimientos se debió al mejor control de temperatura que se tuvo en el segundo sistema, lo cual, impidió que el aceite se quemara y se generaran sólidos. Se pudo observar que ambos porcentajes fueron cercanos al teórico, lo cual refleja que el método y materia prima utilizada son rutas viables para la extracción de aceite con alto rendimiento. (Figura 25)

Así también se evaluó el rendimiento de recuperación de solventes, para ello se utilizó un valor teórico de recuperación, siendo este de 61%, según Caetano *et al.* 2012. Comparando este porcentaje de recuperación con el porcentaje promedio de recuperación de solvente obtenido experimentalmente de $64.10 \pm 0.01\%$, (Tabla 22), se puede observar que la recuperación fue mayor, teniendo como resultado un rendimiento de $105.10 \pm 0.01\%$, el cual superó lo esperado, siendo esta una ruta viable para posteriores extracciones con dichos solventes.

Según Caetano *et al.* 2012, la mayor cantidad de aceite a extraer se obtiene en las primeras horas de extracción, lo cual se comprobó experimentalmente al notar que el rendimiento de extracción, dejando el sistema por cinco horas, era igual al rendimiento obtenido en tres horas, por lo que se decidió realizar cada extracción en tres horas para reducir tiempo y costos de experimentación. Así también, se pudo observar cómo la coloración del solvente cambiaba a un tono amarillo, denotando de esta manera una extracción del mismo. Se realizaron en total 38 extracciones y 19 destilaciones con las cuales se obtuvo una cantidad de aceite de 88.2868 ± 0.0001 g, la cantidad necesaria para realizar las pruebas de caracterización de aceite y pruebas para la producción de biodiésel.

El aceite obtenido de la extracción se caracterizó para conocer las propiedades de éste y compararlas con características ya establecidas. Para las pruebas de caracterización se siguió la

metodología planteada en los métodos de la AOAC y metodología planteada en la Universidad del Valle de Guatemala (Tabla 23). Las pruebas realizadas al aceite fueron: el número ácido, densidad a $23.8 \pm 0.5^\circ\text{C}$, índice de refracción a $20.0 \pm 0.5^\circ\text{C}$, pH a $22.0 \pm 0.5^\circ\text{C}$, porcentaje de humedad y sólidos suspendidos.

El número ácido del aceite se obtuvo por el método de la AOAC 940.28, usando titulación (Figura 30), el análisis se realizó en triplicado y se hizo una variación en cuanto a la cantidad de aceite utilizada, el método utiliza 7.05 g de aceite. En la experimentación se utilizó una gota para cada corrida ya que, si se agregaba más cantidad, se oscurecía la solución, evitando observar el color rosa pálido característico de la neutralización. El valor obtenido, en promedio, fue de 0.143 ± 0.006 mg KOH/g aceite, siendo cercano al valor teórico de 0.1670 ± 0.0005 mg KOH/g aceite obtenido de (Gonzales. 2015). Por lo tanto, se puede decir que se tuvo el valor esperado, indicando que la presencia de ácidos grasos libres en el aceite es baja ya que no excede el límite de 0.5 mg KOH/g aceite.

Las pruebas de densidad, índice de refracción y porcentaje de humedad se realizaron en triplicado siguiendo los métodos de la AOAC 985.19, AOAC 921.08 y AOAC 926.12 respectivamente. Para las pruebas de densidad se utilizó un picnómetro de 25.0 ± 12.5 mL el cual se muestra en la (Figura 28). Para el índice de refracción se utilizó un refractómetro el cual se muestra en la (Figura 29), y para pruebas de humedad, el aceite extraído (Figura 24). Para las tres pruebas se obtuvo valores promedio de 0.9427 ± 0.0005 g/cm³, 1.47942 ± 0.00003 y $0.1510 \pm 0.0002\%$ respectivamente. (Tablas 51 y 53) Dichos valores se compararon con los valores teóricos obtenidos de (Ramírez. 2008), los cuales son de 0.923 g/cm³, 1.478 y 0.375% respectivamente. Tanto la densidad como el índice de refracción tuvieron una variación de 0.0197 ± 0.0005 g/cm³, 0.0014 ± 0.0002 y $0.224 \pm 0.0001\%$ respectivamente, siendo estos valores bajos y denotando que los valores fueron esperados ya que fueron cercanos a los valores teóricos. En cuanto a la humedad, el aceite extraído presentó un porcentaje de $0.1510 \pm 0.0002\%$ siendo este valor bajo, lo cual es adecuado ya que mejora la calidad del aceite. La prueba de pH se realizó con metodología planteada en la Universidad del Valle de Guatemala. El valor obtenido fue de 6.0 ± 0.5 , (Tabla 58) siendo este más alto comparado con el valor de 4.58 obtenido de (Ramírez. 2008), por lo que pudo haber influido el tipo de café y la temperatura de trabajo, así también la humedad del aceite de café.

Se realizó una prueba de cromatografía de gases para determinar los compuestos químicos presentes en el aceite de café extraído. El aceite presentó ácidos grasos los cuales fueron ácido

succínico, palmítico, linolenico, oleico, linoleico, esteárico y pentadecílico los cuales se describen en (Tabla 28) junto con sus respectivas área y tiempos de retención, teniendo un área total de 18.61%. Así también, se obtuvo más de 100 compuestos presentes en el aceite, en (Tabla 29) se pueden observar los compuestos predominantes en cuanto a su área y tiempos de retención, entre ellos están, la cafeína, azúcares y compuestos básicos representado en área un 81.39% con lo cual se deduce que estos compuestos son mayoritarios en el aceite.

Uno de los objetivos fue realizar una evaluación económica para la obtención de aceite de café a partir de la metodología descrita anteriormente. Para ello se tomó en cuenta las 38 extracción y 19 destilación realizadas, con las cuales se obtuvo una cantidad de aceite de 88.2868 ± 0.0001 g.

Para determinar el costo de las extracciones se tomó en cuenta: la cantidad de reactivos utilizada para realizar la mezcla de solventes de hexano-isopropanol, siendo esta de 2.3 L para ambos reactivos, el agua utilizada como refrigerante, la cual se determinó con el caudal de trabajo siendo este de $0.157 \text{ m}^3/\text{h}$ y tomando como base el precio de Q 30.56 por m^3 según EMPAGUA, el consumo de electricidad de la estufa eléctrica utilizada, para ello se determinó la potencia de la estufa y se obtuvo el consumo eléctrico por hora, se tomó como base el precio de tarifa social de Q 1.44 por kWh según EEGSA, la depreciación de los equipos, siendo estos el kit Soxhlet y la estufa eléctrica, la depreciación se determinó estimando la vida útil de los equipos y el precio de los mismo en el mercado, estableciendo de esta manera el costo por hora. Por último, se tomó en cuenta el peso de café total utilizado en las 38 extracciones el cual fue de 483.6471 ± 0.0001 g, para ello se asumió que 1 lb (453.59 g) de posos de café era equivalente al 5% del precio de 1 lb (453.59 g) de café molido, siendo el precio de 1 lb (453.59 g) de café molido de Q 55.00 según la tienda de &Café, proveedores de la materia prima. Detalle de costos (Tabla 24)

En base a este análisis de determino un costo de Q 1, 490.13 para 38 extracciones, del cual se determinó un costo por extracción de Q 39.21, afirmando de esta manera que los materiales más influyentes en el costo de las extracciones fueron los reactivos, el agua utilizada como refrigerante y el consumo eléctrico ya que cada extracción duró 3 horas.

Así también se determinó el costo de 19 destilaciones realizadas, para ello se tomó en cuenta: el agua utilizada como refrigerante, la cual se determinó con el caudal de trabajo siendo este de $0.157 \text{ m}^3/\text{h}$ y tomando como base el precio de Q 30.56 por m^3 según EMPAGUA, el consumo de electricidad de la estufa eléctrica utilizada, para la cual determinó la potencia de la estufa y se

obtuvo el consumo eléctrico por hora, se tomó como base el precio de Q 1.44 por kWh según EEGSA, la depreciación de los equipos, siendo estos el kit de destilación y la estufa eléctrica, la depreciación se determinó conociendo la vida útil de los equipos y el precio de los mismo en el mercado y las por último, el costo de las 48 extracciones realizadas previo a la destilación, el detalle se observa en (Tabla 25). Con base en este análisis, se obtuvo un costo de Q 2, 024.16 para 19 destilaciones y un costo de Q 106.53 para una destilación, siendo el costo de las extracciones el más influyente en el costo total de las destilaciones.

El costo total para extraer 88.2868 ± 0.0001 g de aceite fue de Q 2, 024.16. Con ello se obtuvo el costo por gramo de aceite de café, el cual fue de Q 22.93 (Tabla 26). En base a esto se puede concluir que el costo del aceite de café obtenido por estos métodos es alto debido al tiempo y consumo de materiales que se tiene para la cantidad de aceite obtenido. El alto costo se debe, principalmente al costo de los reactivos empleados, el agua y electricidad utilizada ya que la cantidad de agua y electricidad que se consume dependen del tiempo en que se realicen las extracciones y destilaciones siendo estos tiempos de tres y cuatro horas respectivamente.

El aceite extraído se sometió a una reacción de esterificación ácida para la producción de biodiésel. (Figura 31) Con la cantidad de aceite obtenido se pudo realizar cuatro pruebas, ya que cada reacción requería de 20 g de aceite de café. Se realizó cuatro reacciones de las cuales, en dos de ellas se usó metanol, una con 2-propanol y la última con 1-propanol. Se utilizó tres tipos de alcoholes para observar las diferencias en la reacción ya que la velocidad de reacción está limitada por la transferencia de masa entre fases, por lo cual una mezcla vigorosa y el uso de alcoholes de cadena larga pueden mejorar la solubilidad y el transporte de la adición de un co-disolvente siendo este el caso del 1-propanol, por su larga cadena.

Fue necesario mezclar el alcohol con ácido sulfúrico previo a agregar el aceite ya que la mezcla debe ser homogénea para evitar que la solución se oscurezca debido al contacto entre el ácido y el aceite, a pesar de esto se pudo observar que la solución se tornó de una coloración verde oscura al agregar el aceite, teniendo el mismo resultado con los tres tipos de alcohol utilizados. Se dejó reaccionar durante dos horas a una temperatura de 64°C para que se completara la reacción. Al finalizar las tres horas de reacción se dejó reposar por 24 horas y se pudo observar la separación de dos fases a contra luz debido a la coloración de la solución. Al remover la fase superior se pudo observar que no se obtuvo glicerina si no que se generaron sólidos de gran tamaño, (Figura 33) lo que pudo haber sido causado por los sólidos suspendidos que tenía el aceite extraído por lo cual fue

necesario filtrarlo para evitar que estos sólidos estuvieran presentes en una segunda prueba (Figuras 26 y 27), sin embargo, se tuvo el mismo resultado al realizar las cuatro pruebas con distintos alcoholes.

La fase superior decantada presentó una característica viscosa, de color verde oscuro y con aroma fuerte e irritante, haciendo necesario trabajar en campana, (Figura 32). Se puede decir que la reacción de esterificación se dio debido a la formación de las fases, sin embargo, al separar las capas y someter la capa superior a una prueba 3/27 para determinar si lo obtenido era biodiésel, se observó que estos no se mezclaron, teniendo como resultado cuatro pruebas negativas. Se obtuvo los mismos resultados al realizar la misma reacción con 2-propanol y 1-propanol. Según el artículo en el que se basa la metodología para la reacción era necesario realizar esta con 1-propanol, ya que, por su punto de ebullición de 97°C la reacción ocurre a una tasa de rapidez más rápida comparada con el metanol con punto de ebullición de 69°C, esto es debido a que al realizar la reacción a una temperatura mayor, como la del punto de ebullición del 1-propanol, la cadena larga de hidrocarburos provee una mejor mezcla entre las fases, sin embargo los resultados fueron negativos.

A pesar de haber obtenido una separación de fases posterior a la reacción, el resultado final no dio positivo en la prueba 3/27, por lo cual es necesario realizar un tratamiento al aceite previo a ser utilizado para la reacción y así poder remover cualquier impureza, contaminante o pequeñas cantidades de reactivos utilizados en la extracción que no pudieron destilarse ya que en cuanto a las características físicas analizadas del aceite se determinó que estas estaban dentro de los rangos reportados por la literatura citada, sin embargo en las características químicas, analizadas con cromatografía de gases, se determinó que la cantidad de ácidos grasos presentes en el aceite es inferior comparada con la cantidad de otros compuestos presentes. El área que abarcaron los ácidos grasos fue de 18.61% y el resto pertenece a los compuestos descritos en la (Figura 36). A pesar de tener ácidos grasos presentes en el aceite estos no pudieron reaccionar ya que los compuestos predominantes impidieron que la reacción de esterificación se diera, teniendo como resultado una reacción secundaria.

Los factores principales que influyeron en la esterificación en medio ácido fueron, los ácidos grasos, ya que se tenían presentes en el aceite, pero en una cantidad inferior comparada con los demás compuestos presentes en este, y la humedad, aunque esta fue baja. Debido a esto se puede deducir que el aceite de café extraído contenía más de 100 compuestos interferentes los cuales

podieron hacer que el catalizador no tuviera efecto o contribuyera en la reacción. Las variables controladas durante la reacción fueron la velocidad de agitación previa a adicionar el aceite y posteriormente, el tiempo de reacción, cantidad de catalizador y temperatura de calentamiento las cuales pudieron influir en esta.

De la misma manera que las extracciones y destilaciones, se determinó el costo total para realizar cuatro reacciones por esterificación en medio ácido, detallada en (Tabla 27). Para realizar los costos de esta parte de la experimentación se tomó en cuenta: la cantidad de reactivos utilizada siendo de 32 mL de alcohol y 0.6 mL de ácido sulfúrico, el agua utilizada como refrigerante teniendo un caudal de 0.157 m³/h y tomando como referencia el costo de agua de Q 30.56 por m³ fijado por EMPAGUA, el consumo eléctrico de la estufa, estimando su potencia para determinar la cantidad de kWh consumidos, la depreciación de los equipos siendo estos el kit de la reacción y la estufa eléctrica y por último la cantidad de aceite de café utilizado, la cual fue de 80 mL con un costo de Q 1, 729.08, siendo este el material que más influye en el costo total de las reacciones. El costo total obtenido para cuatro reacciones fue Q 2, 064.53 con el cual se determinó un costo de Q 516.13 por reacción. Dentro de estos costos se tomó solo el precio del metanol como el alcohol utilizado para las reacciones.

A pesar de no poder obtener rendimientos para el biodiésel se obtuvo un rendimiento de extracción de aceite de café favorable parecido al de la literatura citada junto con su caracterización marcando valores dentro del rango indicado en cada uno de los análisis, aportando indicios de la capacidad de producir biodiésel. Sin embargo, los costos para extraer aceite y producir biodiésel son altos debido al equipo a utilizar y la cantidad de solventes requerida.

VIII. CONCLUSIONES

1. Se logró extraer en promedio $19.26 \pm 0.01\%$ (m/m) de aceite proveniente del poso de café con un rendimiento de $91.71 \pm 0.01\%$ respecto al valor teórico reportado en la literatura de 21.0% de aceite, utilizando una mezcla de solventes de 50-50% v/v de hexano e isopropanol.
2. El porcentaje de extracción de aceite de café es mayor si se realiza una destilación en baño de arena, siendo este $20.37 \pm 0.01\%$ (m/m), mientras que la destilación simple presentó un porcentaje de $18.15 \pm 0.01\%$ (m/m) debido al control de la temperatura que se logra tener utilizando un baño de arena, siendo esta de 67°C .
3. El rendimiento en promedio de la extracción de aceite de café con destilación simple y en baño de arena fueron de 86.43 y $97.00 \pm 0.01\%$ respectivamente, respecto al valor teórico reportado en la literatura de 21.0% de aceite, indicando que la metodología planteada es una ruta viable de extracción de aceite.
4. El rendimiento promedio de la recuperación de solventes fue un $5.10 \pm 0.01\%$ mayor que el valor teórico, tomando en cuenta que el porcentaje de recuperación de solvente experimental fue de $64.10 \pm 0.01\%$ siendo este mayor al de la literatura citada que lo sitúa en un 61%.
5. La caracterización de destilado con aceite de café extraído presentó valores de 0.143 ± 0.006 mg KOH/g aceite, 0.9427 ± 0.0005 g/cm³, 1.47942 ± 0.00003 , $0.1510 \pm 0.0002\%$, 6.0 ± 0.5 , para el índice de acidez, densidad, índice de refracción, % humedad y pH respectivamente, siendo estos valores cercanos y dentro de los rangos establecidos en caracterizaciones realizadas en investigaciones anteriores.
6. El aceite presentó ácidos grasos como ácido succínico, palmítico, linolenico, oleico, linoleico, esteárico y pentadecílico, sin embargo, la presencia de estos en el destilado con aceite representa una proporción de 18.61% de área, siendo ésta muy baja comparada con los demás compuestos (azúcares, alcoholes, compuestos básicos) los cuales representaron un área de 81.39%.

7. El costo total para obtener $88.2868 \pm 0.0001\%$ g de aceite de café realizando 38 extracciones y 19 destilaciones fue de Q 2, 024.16 teniendo un costo por gramo de aceite de Q22.93 siendo este costo alto comparado con la cantidad de aceite que se obtiene, hecho que se evidencia en el tiempo y consumo, principalmente de reactivos, agua y electricidad.
8. En las condiciones descritas, no se logró producir biodiésel a escala laboratorio a partir del aceite extraído del poso de café debido a que la reacción de esterificación en medio ácida no se completó por la predominancia de compuestos como azúcares, alcoholes y compuestos básicos presentes en el aceite los cuales evitaron que la reacción se completara.
9. El costo total para realizar cuatro reacciones fue Q 2, 064.53, correspondiendo un costo por reacción de Q 516.13. Siendo este valor alto principalmente por el costo del aceite utilizado para la producción.

IX. RECOMENDACIONES

1. Realizar el secado del poso de café al momento en que este es recolectado para evitar que este pase mucho tiempo sin ser procesado y la consecuente descomposición del mismo, así como la presencia de microorganismos biológicos debido a la alta humedad que presenta.
2. Realizar un secado hasta obtener un porcentaje bajo de humedad entre 2 y 10% para almacenarlo y evitar la contaminación de este. Así también mantenerlo almacenado en recipientes cerrados para evitar que este se degrade y cumpla con las características de humedad necesarias para someterlo a extracciones
3. Realizar las extracciones por 3 horas para obtener una extracción eficiente de aceite y agregar más cantidad de solvente de la necesaria para evitar que el Soxhlet se quede sin solventes y no se presenten los reflujos.
4. Experimentar con distintos tipos de café, arábica y robusta, y con el poso de café proveniente de distintas preparaciones de bebidas como lo son, el espresso, capuchino, percoladora entre otros, para evaluar las diferencias en rendimientos que presentan cada una de ellas.
5. Realizar una caracterización física y química de la materia prima proveniente de distintas preparaciones de bebidas de café, como lo son pruebas organolépticas, granulometría, humedad, determinación de compuestos característicos y determinar si son viables para la extracción de aceite y producción de biodiesel.
6. Realizar la extracción de aceite de café por medios mecánicos y evaluarlo como fuente viable para la producción de biodiesel por medio de caracterización física, química, por rendimientos, y comparación con la evaluación de extracción por solventes.
7. Purificar el destilado con aceite extraído por medio de solventes, removiendo los compuestos presentes por medio de destilación, controlando temperaturas para obtener los ácidos grasos requeridos y obtener mejores resultados en la reacción de esterificación

8. Utilizar un baño de arena para realizar las destilaciones ya que se obtiene un mayor rendimiento, menor porcentaje de sólidos presentes y se evita quemar el aceite.
9. Utilizar sistemas en serie para la extracción y destilación para disminuir el tiempo de experimentación y recircular el agua que se utiliza como refrigerante para no desperdiciarla.
10. Utilizar un sistema de bajo costo y fácil de manipular para recircular el agua utilizada como refrigerante en las extracciones, destilaciones y reacciones, ya que es el recurso más representativo en los costos por la gran cantidad que se utiliza.

X. BIBLIOGRAFÍA

1. ANACAFE (Asociación Nacional del Café, GT). 1991. *Manual de caficultura Guatemala Guatemala*. Guatemala. 12-17 págs.
2. ANACAFE (Asociación Nacional del Café, GT). 2004. *Datos socioeconómicos del cultivo del café en Guatemala*. Guatemala. 52 págs.
3. Bengoagorostiza, Paul. 2012. *Síntesis de biodiesel mediante catálisis ácida heterogénea a partir de mezclas de aceite y ácidos grasos*. Universidad Pública de Navarra. España. 51 págs.
4. Bladt, Don, *et al.* 2011. *Acid-Catalyzed Preparation of Biodiesel from Waste Vegetable Oil*. An Experiment for the Undergraduate Organic Chemistry Laboratory. JCE. V 88. No. 2. United States. 201-203 págs.
5. Cárdenas Bear, César. 2015. *Análisis del número ácido que presentan crudos de diferente gravedad API y sus fracciones típicas*. Instituto Politécnico Nacional. México. 68 págs.
6. Clarke, R. 2001. *Coffee recent developments*. Inglaterra. Blackwell Science. 257 págs.
7. Clarke, R. y Macrae, R. 1985. *Coffee*. Volume 1. England. London. Elsevier applied science publishers. 306 págs.
8. Cenicafe. 2011. *Composición química de una taza de café*. Programa de Investigación Científica fondo Nacional del Café. Colombia. 12 págs.
9. Folstar, P, *et al.* 1975. The composition of fatty acids in coffee oil and wax. *Lebensm. Technol*
10. FórumCafé. 2001. *El Café guatemalteco, un reflejo de la diversidad del país*. Origen del café. <http://www.forumdelcafe.com/biblioteca/guatemala> [septiembre 2017]
11. Fuertes, V. 2005. *Forum del café. Obtenido de Control de la máquina de café espresso*. <http://www.forumcafe.com/pdf/F-> [septiembre 2017]
12. González, Nory Celeste. 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 biodiesel*». Tesis de la Universidad del Valle de Guatemala. 104 págs.

13. Green car Congress. 2008. *Waste coffee grounds as biodiesel feedstock; potential for 340 M gallons per year of coffee biodiesel*. <http://www.greencarcongress.com/2008/12/waste-coffee-gr.html> [Agosto 2017]
14. Knothe, G; Gerpen, J; Krahl, J. 2005. *The Biodiesel Handbook*. AOCS. Champaign, Illinois. 286 págs.
15. Lief, F; Pandey A; Soccol C. 2001. *Production of flammulina velutipes on coffee husk and coffee spent-grounds*. Brazilian Archives of Biology and Technology. 44 págs.
16. López, F; Castaño, C. 1999. *Extracción de aceite a partir de subproductos de la trilla de café pergamino*. Cenicafé 50(1): 66-77 págs.
17. Maldonado Oscar; Zambrano, Gamaliel; Rolz, Carlos. «*Producción de biodiesel: estrategias y tecnología*». Revista de la Universidad del Valle de Guatemala. (21). 1-28
18. Medina, Mauricio; Ospino, Yesid; Tejada, Lesly. 2014. *Esterificación y trans-esterificación de aceites residuales para obtener biodiesel*. Universidad de Caldas. Colombia. Revista luna azul (40). 25-34.
19. Medina, I; Chávez, N; Jáuregui, J. 2012. *Biodiésel, un combustible renovable*. Investigación y ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes. Revista (55). 62-70.
20. Ministerio de Energía y Minas. 2015. *Informe estadístico de hidrocarburos*. Revista del Ministerio de Energía y Minas. págs. 12-13.
21. Narasimharao, Kondamudi; Susanta K; Mohapatra; Mano Misra. 2008. *Spent Coffee Grounds as a Versatile Source of Green Energy*. J. Agric. Food Chem., Article.
22. Nídia, Caetano. *et al.* 2012. *Valorization of Coffee Grounds for Biodiesel Production*. Chemical Engineering Transaction. Volume. 26.
23. Nuñez. C. 2008. *Extracciones con equipo Soxhlet*. <http://www.cenunez.com.ar/archivos/39-extraccinconequiposoxhlet.pdf> [Agosto 2017]
24. Oliveira, L. 2007. *Coffee oil as a potential feedstock for biodiesel production*. United States. Biogreen. 12 págs.
25. Ortega, C. *et al.* 2014. *Evaluación del rendimiento de la extracción de café tostado molido comercial*. Universidad de Pamplona. Volumen 12, (1). 40-47.
26. Pahl, G. 2008. *Biodiesel: Growing a new energy economy*. 2a edición. United States of America. Chelsea Green Publishing Company. 370 págs.

27. Pisarello, L. 2012. *Producción de biodiésel: equilibrio fisicoquímico y cinética de esterificación y transesterificación con diferentes catalizadores y alcoholes*. Universidad Nacional de Litoral.
28. Zambrano, Gamaliel; Rossi, Cristián; Pinzón, Luis. 2015. *Determinación y evaluación de la producción de biodiesel a partir de desechos de extracción de la bebida de café*. PROYECTO FODECYT 039-2012. 102 págs.
29. Ramalakshmi, K. et al. 2009. *Bioactivities of low-grade Green coffe and spent coffe in different in vitro model systems*. United States. Foods Chemistry. (115). 79-85 págs.
30. Ramirez, 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. 163 págs.
31. Rosario, Diana. 2014. *Evaluación de la recuperación de fracción lipídica proveniente del residuo sólido de soluciones de café bebible, procedentes de expendios de café en taza y planta de café soluble*. Tesis de la Universidad de San Carlos de Guatemala. 187 págs.
32. Rossete Amaro; Vincent Andrey. 2015. *Obtención de biodiesel utilizando como materia prima la borra de café*. Universidad Veracruzana. México. 90 págs.
33. Rufán J. 2015. *Los posos del café, fuente rica en antioxidantes*. Investigación científica. Universidad de Granada y Estación Experimental del Zaidín (CSIC). <http://www.diariodeibiza.es/vida-y-estilo/salud/2015/05/06/posos-cafe-fuente-rica-antioxidantes/766068.html>. [septiembre 2017]
34. Schuette, H; A Milford; Chang. 1934. *The characteristics and composition of coffe vean oil. Contribution from the laboratory of foods and sanitation*. University of Wisconsin. Wisconsin. Journal of American Chemical Society. 2086 págs.
35. Uribe, M. 2010. *Simulación de una planta piloto para la producción de biodiésel 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.
36. Xie, Y. 2008. *Coffe grounds for biodiesel*. Journal of Agricultural and Food Chemistry. United States.

XI. APÉNDICE

A. Procedimiento

1. Recolección y almacenamiento del poso de café
 - a. Recolectar el poso de café de la tienda de &Café
 - b. Proporcionarle a la tienda recipientes cerrados y etiquetados para llenarlos diariamente.
 - c. Almacenar las muestras en un refrigerador (3 a 5°C).
 - d. Utilizar el poso de café antes de cumplir los cinco días de haberlo recolectado

2. Secado del poso de café
 - a. Determinar la humedad de tres muestras de 1.0000 ± 0.0001 g poso de café con la balanza de humedad
 - b. Recubrir de papel aluminio cuatro bandejas de acero galvanizado rectangulares
 - c. Colocar el poso de café sobre las bandejas formando una capa de 2cm de espesor.
 - d. Colocar las bandejas en un secador eléctrico de gabinete de convección situado en la Universidad del Valle de Guatemala y secar a 100°C por 5 horas como mínimo.
 - e. Revisar la humedad continuamente, hasta que está este en un valor en el rango de 2% a 6% m/m. De lo contrario secar por más tiempo.
 - f. Enfriar las muestras
 - g. Las muestras frías y secas almacenarlas en bolsas de plástico y estas en recipientes etiquetados.
 - h. Almacenar los recipientes en un lugar fresco a una temperatura de 22°C

3. Tamizado del poso de café

- a. Determinar la humedad del poso de café previo a realizar el tamizado, esta debe tener un valor en el rango de 2% a 10%. Si no, se debe secar.
- b. Tomar tres muestras de 200.0000 ± 0.0001 g de poso de café, de cada lote molido y seco.
- c. Realizar análisis granulométrico en tamizador ROTAP, con un banco de tamices No. 20, 30, 45, 60, 80, 100 y plato para finos, durante 15 minutos.
- d. Determinar las masas en cada uno de los tamices.
- e. Determinar el % de sólidos retenidos, por medio de la masa retenida en cada tamiz y la masa inicial.
- f. Determinar el tamaño de partícula predominante.

4. Extracción de aceite de café por mezcla de solventes

- a. Elaborar un cartucho soxhlet con papel filtro.
- b. Tomar una muestra de 10.0000 ± 0.0001 g del poso de café seco e introducirlo en el cartucho Soxhlet.
- c. Introducir el cartucho Soxhlet en el cuerpo del Soxhlet.
- d. Agregar a un balón esférico de fondo plano 60mL de hexano y 60mL de isopropanol.
- e. Agregar agitador magnético para homogenizar la solución y controlar ebullición.
- f. Armar el sistema de extracción Soxhlet recubriendo las uniones con vaselina.
- g. Colocar el condensador sobre el Soxhlet, utilizar agua como refrigerante y abrir llave de la misma.
- h. Colocar el balón esférico una manta de calentamiento o estufa y calentar a 75°C
- i. Dejar reflujar durante 3 horas
- j. Dejar enfriar la solución
- k. Almacenar la solución para destilarla posteriormente.

5. Destilación de aceite de café

- a. Agregar 120 mL, del extracto obtenido en la extracción, en un balón de tres bocas.
- b. Colocar un agitador magnético en el balón.
- c. Armar el sistema de destilación recubriendo las uniones con vaselina
- d. Colocar las mangueras para utilizar agua como refrigerante, abrir llaves.
- e. Colocar el balón esférico una manta de calentamiento o estufa y calentar a 65°C
- f. Controlar que el balón no se quede sin solución
- g. Luego de 45 minutos, agregar 100 mL más de solución para seguir destilando hasta agotar la solución.
- h. Remover el aceite de café del balón y colocarlo en un beaker previamente tarado
- i. Calentar el aceite a 80°C para evaporar los restos de solvente.
- j. Almacenar el aceite en recipiente cerrado y etiquetado.
- k. Reutilizar el solvente destilado para las siguientes extracciones.

6. Caracterización de aceite

- a. Prueba de número ácido
 - 1) Agregar 75mL de etanol y agregar 3 gotas de fenolftaleína al Erlenmeyer con la muestra de aceite.
 - 2) Titular con una solución de KOH 0.1M hasta la coloración de rosa pálido
 - 3) Pesar una gota de aceite y agregarla en el Erlenmeyer
 - 4) Titular con una solución de KOH 0.25M hasta la coloración de rosa pálido
 - 5) Determinar el número ácido con la fórmula de la ecuación 2
- b. Prueba de densidad
 - 1) Se pesó el picnómetro limpio y seco
 - 2) Se llenó con agua destilada y se volvió a pesar (obtener la masa de agua contenida en el picnómetro)
 - 3) Se debe vaciar y llenar con el líquido problema (lavar una vez o dos con el líquido problema, antes de colocar la muestra)
 - 4) Pesar nuevamente (obtener masa del líquido problema)

- 5) Se calculó el volumen del picnómetro con ecuación 3
 - 6) Se determinó la densidad del líquido con ecuación 4
- c. Índice de refracción
- 1) Encender el refractómetro y esperar a que estabilice la temperatura
 - 2) Limpiar el refractómetro con agua destilada
 - 3) Agregar una gota de aceite en el lente y tapar con cuidado
 - 4) Anotar el valor determinado por el equipo a la temperatura correspondiente.
 - 5) Realizar los pasos anteriores 3 veces.
- d. Porcentaje de sólidos suspendidos
- 1) Pesar una muestra de aceite y agregarla a un tubo de ensayo limpio y con tapón
 - 2) Introducir el tubo de ensayo dentro de una centrifuga y dejarlo centrifugar por 10 minutos a 2.5rpm
 - 3) Decantar la parte superior del tubo de ensayo y pesar los sólidos restantes en el tubo
 - 4) Determinar el porcentaje de solidos por diferencia de masas.
- e. Determinación de pH
- 1) Utilizar papel indicador de pH
 - 2) Introducir el papel pH dentro de la muestra de aceite y determinar el pH por medio de la coloración del mismo, utilizando la escala debida.

7. Producción de biodiésel a partir del aceite obtenido de la extracción
 - a. En un balón de 125mL mezclar 8mL de 1-propanol al 95% con 0.15mL de ácido sulfúrico al 99% concentrado agitar con un agitador magnético.
 - b. Después de mezclarlo agregar 20mL de aceite extraído, calentar a 65°C con reflujo y agitación por tres horas. Dejar que la mezcla se enfríe. Luego, transferir a una ampolla, dejar reposar por un día y separar las capas.
 - c. Remover la capa de glicerina de color marrón que se forma en la parte inferior.
 - d. Determinar pH, si éste es mayor a 7 se deberá lavar la capa superior con tres porciones de 15mL de una solución 1M de NaCl o mezclándolo con agua a 90°C, cuidando que no se produzcan emulsiones.
 - e. Si se mezcla con agua se deberá agitar y se dejará reposar por dos días.
 - f. Comprobar el lavado final con papel de pH para asegurar que el pH es neutral. Separar la capa del éster en un matraz y secar con cloruro de calcio anhidro o $MgSO_4$, filtrar por gravedad para obtener el producto.

8. Prueba 3/27 para biodiésel
 - a. En un vial, colocar 27ml de metanol 95%
 - b. A esos 27ml de metanol agregar 3ml del combustible a analizar y agitar
 - c. Reacción completa: se puede observar que el combustible se ha disuelto completamente en el metanol
 - d. Reacción incompleta: se puede observar que el combustible no se ha disuelto en el metanol; se puede ver un poco opaco (brumoso)
 - e. Después de 5 minutos se puede volver a observar la muestra para comprobar que siga sin disolverse o que siga totalmente claro (disuelto)

B. Datos de placa

Tabla 30. Datos del secador de gabinete

Marca	Corbett Industries Inc.
Serie	12805
Voltaje (v)	220
Modelo	EC-404-6
Amperaje (A)	120.2
Motor (hp)	1.0

Fuente: Elaboración propia

Tabla 31. Datos de balanza analítica digital BOECO

Marca	BOECO Germany
Serie	XX43-0013
Rango	0 a 220g
Incertidumbre	± 0.0001 g

Fuente: Elaboración propia

Tabla 32. Datos de balanza analítica digital OHAUS

Marca	OHAUS
Serie	3000
Modelo	V31XH2
Rango	0 – 2000g
Incertidumbre	± 0.0001 g

Fuente: Elaboración propia

Tabla 33. Datos de tamizador

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

Fuente: Elaboración propia

Tabla 34. Datos del refractómetro

Marca	ATAGO
Modelo	RX-5000
Incertidumbre	± 0.00005

Fuente: Elaboración propia

Tabla 35. Datos de balanza de humedad

Marca	OHAUS
Modelo	MB120
Rango	0 – 120g
Incertidumbre	± 0.001 g

Fuente: Elaboración propia

Tabla 36. Datos del picnómetro utilizado en pruebas de densidad

Marca	Brand Germany
Volumen	25mL
Incertidumbre	± 12.5 mL

Fuente: Elaboración propia

Tabla 37. Cristalería y equipo utilizado para la extracción de aceite

Nombre	Especificación	Marca
Extractor Soxhlet	Superior 45/50, inferior 24/20	Pyrex
Cartucho Soxhlet	Papel filtro	-
Balón esférico fondo plano	1 boca, 250mL	Pyrex
Condensador	45/50	Pyrex
Estufa con agitador	120V, 8.90 A, 60Hz.	Barnstead
Dos mangueras	-	-
Soporte	Metal	-
Pinzas	Metal	-

Fuente: Elaboración propia

Tabla 38. Cristalería y equipo utilizado para la destilación de solventes

Nombre	Especificación	Marca
Balón	Tres bocas, 250 mL	Pyrex
Adaptador para termómetro	-	Pyrex
Termómetro	Rango -20 a 150°C, mercurio	Taylor
Condensador	Vidrio boro silicato	Pyrex
Beaker	50±5mL	Pyrex
Tapón de vidrio	Vidrio boro silicato	-
Controlador de temperatura		
Mangueras	-	-
Estufa con agitador	120V, 8.90 A, 60Hz.	Barnstead

Fuente: Elaboración propia

Tabla 39. Cristalería y equipo utilizado para la reacción de esterificación en medio ácido

Nombre	Especificación	Marca
Balón	Tres bocas, 250mL	Pyrex
Condensador	45/50	Pyrex
Tapón de vidrio	Boro silicato	Pyrex
Termómetro	Rango -20 a 150°C, mercurio	Taylor
Tapón de hule	-	-
Estufa con agitador	120V, 8.90 A, 60Hz.	Barnstead
Mangueras	-	-

Fuente: Elaboración propia

Tabla 40. Cristalería y equipo utilizado para la determinación del número ácido

Nombre	Especificación	Marca
Erlenmeyer	250±125mL	Pyrex
Bureta	25±0.25mL	Pyrex
Agitado magnético	-	-
Soporte	Metal	-
Pinzas	-	-

Fuente: Elaboración propia

Tabla 41. Especificaciones del hexano utilizado para extracción

Hexano (C ₆ H ₁₄)	
Marca	Merck
Pureza (%)	99
Grado	Analítico
Masa Molecular (g/mol)	86.18
Punto ebullición (°C)	69

Fuente: Elaboración propia

Tabla 42. Especificaciones del 2-propanol utilizado para extracción

2-propanol (C ₃ H ₈ O)	
Marca	Merck
Pureza (%)	99
Grado	Analítico
Masa Molecular (g/mol)	60.09
Punto ebullición (°C)	83

Fuente: Elaboración propia

Tabla 43. Especificaciones del hidróxido de potasio utilizado para la determinación del número ácido

Hidróxido de potasio (KOH)	
Marca	Merck
Pureza (%)	98
Grado	Analítico
Masa Molecular (g/mol)	56.11
Punto ebullición (°C)	1320

Fuente: Elaboración propia

Tabla 44. Especificaciones del ácido sulfúrico utilizado en la reacción de esterificación.

Ácido sulfúrico (H ₂ SO ₄)	
Marca	Merck
Pureza (%)	99
Grado	Analítico
Masa Molecular (g/mol)	98.08
Punto ebullición (°C)	337

Fuente: Elaboración propia

Tabla 45. Especificaciones de metanol utilizado en la reacción de esterificación.

Metanol (CH ₄ O)	
Marca	Merck
Pureza (%)	
Grado	Analítico
Masa Molecular (g/mol)	32.04
Punto ebullición (°C)	65

Fuente: Elaboración propia

C. Datos intermedios

Tabla 46. Promedios de masa de poso, aceite y porcentaje (m/m) de café obtenidos de 32 extracciones y 16 destilaciones simples.

Corridas	Masa de poso de café ± 0.0001 g	Masa de aceite de café extraído ± 0.0001 g	Porcentaje (m/m) de aceite obtenido ± 0.01 %
1	10.0764	2.1130	20.97
2	10.0533	2.2920	22.80
3	10.0167	2.3416	23.38
4	10.0367	2.5368	25.28
5	10.0011	2.8630	29.00
6	10.1283	2.8550	28.00
7	10.0536	2.1027	20.91
8	10.3237	2.1026	20.40
9	10.0020	1.7543	18.00
10	10.1452	1.5542	15.00
11	10.1900	1.8382	18.00
12	10.0829	1.6383	16.00
13	10.2645	1.7833	17.00
14	10.0936	1.6032	16.00
15	10.1419	1.7817	18.00
16	10.0350	1.6031	16.00
17	10.0485	1.6837	17.00
18	10.0012	1.6321	16.00
19	15.0176	2.6327	17.53
20	15.0808	2.5932	17.20
21	15.2615	2.8312	18.55
22	15.0092	2.6360	17.56
23	14.9476	2.2012	14.73
24	15.0607	2.5014	16.61
25	15.0398	2.1771	14.48
26	15.1573	2.1773	14.36
27	15.0452	2.0000	13.29
28	14.6962	2.0285	13.80
29	15.1213	2.4242	16.03
30	14.8597	2.4000	16.15
31	15.0046	2.5340	16.89
32	15.0364	2.4110	16.03
Promedios	12.2510	2.1758	18.15

Fuente: Elaboración propia

Tabla 47. Promedios de masa de poso, aceite y porcentaje (m/m) de café obtenidos de 6 extracciones y 3 destilaciones con baño de arena

Corridas	Masa de poso de café ± 0.0001 g	Masa de aceite de café extraído ± 0.0001 g	Porcentaje (m/m) de aceite obtenido ± 0.01 %
1	15.2961	3.5158	22.98
2	15.3856	3.515	22.85
3	15.1138	2.7066	17.91
4	15.0198	3.5153	23.4
5	15.3345	2.7265	17.78
6	15.4648	2.6802	17.33
Promedios	15.2691	3.10995	20.375

Fuente: Elaboración propia

Tabla 48. Primer análisis granulométrico realizado al poso de café

Bandeja 1: muestra de pozo de café (200 g)						
Tamiz	Mesh (mm)	Masa tamiz ± 0.1 g	Masa muestra + tamiz ± 0.1 g	Muestra tamizada ± 0.2 g	Retención ± 0.01 %	Acumulado ± 0.01 %
20	0.841	382.8	383.8	1.0	0.50%	0.00%
30	0.595	369.2	383	13.8	6.90%	7.40%
45	0.354	331.2	414.3	83.1	41.55%	48.95%
60	0.250	329.8	375.2	45.4	22.70%	71.65%
80	0.177	338.1	374.1	36.0	18.00%	89.65%
100	0.149	323.7	337.2	13.5	6.75%	96.40%
Último plato		463.6	470.8	7.2	3.60%	100.00%

Fuente: Elaboración propia

Tabla 49. Segundo análisis granulométrico realizado al poso de café

Bandeja 2: muestra de poso de café (200 g)						
Tamiz	Mesh (mm)	Masa tamiz ±0.1 g	Masa muestra + tamiz ±0.1 g	Muestra tamizada ±0.2 g	Retención ±0.01%	Acumulado ±0.01%
20	0.841	382.8	383.6	0.8	0.40%	0.00%
30	0.595	369.2	382.7	13.5	6.75%	7.15%
45	0.354	331.2	414.6	83.4	41.70%	48.85%
60	0.250	329.8	374.4	44.6	22.30%	71.15%
80	0.177	338.1	375	36.9	18.45%	89.60%
100	0.149	323.7	337.3	13.6	6.80%	96.40%
Último plato		463.6	470.8	7.2	3.60%	100.00%

Fuente: Elaboración propia

Tabla 50. Tercer análisis granulométrico realizado al poso de café

Bandeja 3: muestra de poso de café (200 g)						
Tamiz	Mesh (mm)	Masa tamiz ±0.1 g	Masa muestra + tamiz ±0.1 g	Muestra tamizada ±0.2 g	Retención ±0.01%	Acumulado ±0.01%
20	0.841	382.8	383	0.2	0.10%	0.00%
30	0.595	369.2	383.6	14.4	7.20%	7.30%
45	0.354	331.2	414.5	83.3	41.65%	48.95%
60	0.250	329.8	374.3	44.5	22.25%	71.20%
80	0.177	338.1	374.6	36.5	18.25%	89.45%
100	0.149	323.7	338.1	14.4	7.20%	96.65%
Último plato		463.6	470.3	6.7	3.35%	100.00%

Fuente: Elaboración propia

Tabla 51. Prueba en triplicado del índice de refracción del aceite

Muestra	T ± 0.5 (°C)	Índice refracción ± 0.00001	Promedio índice	Desviación
1	19.9	1.47940		
2	20.0	1.47944	1.47942	2.31E-05
3	20.0	1.47944		

Fuente: Elaboración propia

Tabla 52. Datos calculados para determinar densidad del aceite en triplicado

Datos/Corrida	1	2	3
T (°C)	23.8	23.8	23.8
ρ agua(kg/m ³)	997.428	997.428	997.428
M picnómetro (g) ± 0.00001	20.5796	20.5794	20.5796
M picnómetro agua (g) ± 0.00001	45.6716	45.6716	45.6714
M agua (g) ± 0.00001	25.092	25.0922	25.0918
M picnómetro+aceite (g) ± 0.00001	44.2944	44.2943	44.2944
M aceite (g) ± 0.00001	23.7148	23.7149	23.7148
V picnómetro (cm ³) ± 0.0002	25.1567	25.1569	25.1565

Fuente: Elaboración propia

Tabla 53. Prueba en triplicado de la densidad del aceite

Muestra	T ± 0.5 (°C)	P aceite (g/cm ³)	Promedio	Desviación
1	23.8	0.9427		
2	23.8	0.9427	0.9426	5.64E-06
3	23.8	0.9427		

Fuente: Elaboración propia

Tabla 54. Determinación del número ácido

Muestra	Masa aceite ± 0.0001 g	Volumen	Número	Promedio
		KOH ± 0.25 mL	ácido	
1	0.0275	0.28	0.1428	
2	0.0382	0.39	0.1432	0.1429
3	0.0314	0.32	0.1429	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 55. Determinación de masa de sólidos, retenidos por filtración, en el aceite extraído

No. Filtro	Masa filtro $\pm 0.0001\text{g}$	MF + sólidos $\pm 0.0001\text{g}$	Masa sólidos $\pm 0.0001\text{g}$
1	0.6534	2.7478	2.0944
2	0.6527	3.4174	2.7647
3	0.6369	3.5502	2.9133
4	0.6415	4.9217	4.2802
Totales	2.5845	14.6371	12.0526

Fuente: Elaboración propia

Tabla 56. Porcentaje de sólidos presentes en el aceite obtenido por destilación simple

M sólidos $\pm 0.0001\text{g}$	12.0526
M aceite $\pm 0.0001\text{g}$	62.6563
% sólidos $\pm 0.0001\%$	19.2361

Fuente: Elaboración propia

Tabla 57. Porcentaje de sólidos presentes en el aceite obtenido por destilación con baño de arena

M aceite $\pm 0.0001\text{g}$	3.0131
M sólidos $\pm 0.0001\text{g}$	0.2118
% sólidos $\pm 0.012\%$	7.03

Fuente: Elaboración propia

Tabla 58. Prueba en triplicado del valor de pH del aceite

Corrida	1	2	3
pH	6	6	6

Fuente: Elaboración propia

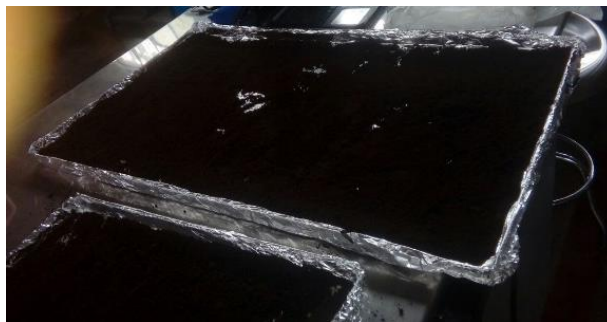
D. Figuras de equipo experimental

Figura 10: Secador de gabinete utilizado para secar el poso de café. Departamento de Ingeniería Química, Laboratorio de Operaciones Unitarias, Universidad del Valle de Guatemala.



Fuente: Elaboración propia

Figura 11: Poso de café distribuido de las bandejas de metal para su posterior secado. Departamento de Ingeniería Química, Laboratorio de Operaciones Unitarias, Universidad del Valle de Guatemala.



Fuente: Elaboración propia

Figura 12: Posición de las bandejas de metal dentro del secador de gabinete. Departamento de Ingeniería Química, Laboratorio de Operaciones Unitarias, Universidad del Valle de Guatemala.



Fuente: Elaboración propia

Figura 13: verificación de la humedad del poso de café en balanza de humedad. Departamento de Ingeniería Química, Laboratorio de Operaciones Unitarias, Universidad del Valle de Guatemala.



Fuente: Elaboración propia

Figura 14: Muestras del poso de café utilizadas para verificación de humedad. Departamento de Ingeniería Química, Laboratorio de Operaciones Unitarias, Universidad del Valle de Guatemala.



Fuente: Elaboración propia

Figura 15: Tamizaje de poso de café secado, realizado en un banco de tamices. Departamento de Ingeniería Química, Laboratorio de Operaciones Unitarias, Universidad del Valle de Guatemala.



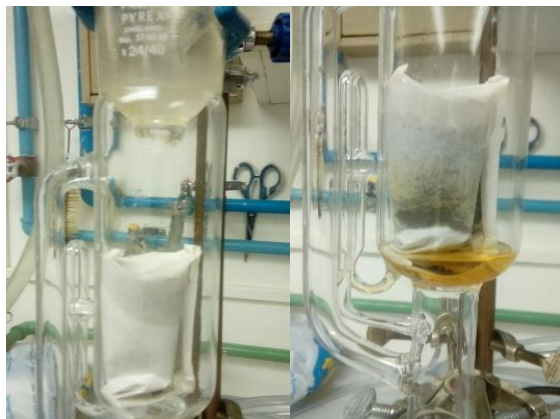
Fuente: Elaboración propia

Figura 16: filtro o cartucho Soxhlet utilizado para realizar la extracción del aceite de café.
Departamento de Ingeniería Química, Laboratorio de Operaciones Unitarias, Universidad del
Valle de Guatemala.



Fuente: Elaboración propia

Figura 17: Filtro o cartucho Soxhlet dentro del Soxhlet para realizar extracción. Departamento de
Ingeniería Química, Laboratorio de Operaciones Unitarias, Universidad del Valle de Guatemala.



Fuente: Elaboración propia

Figura 18: Sistema de extracción utilizado para la extracción de aceite de café. Departamento de Ingeniería Química, Laboratorio de Operaciones Unitarias, Universidad del Valle de Guatemala.



Fuente: Elaboración propia

Figura 19: Dos sistemas de extracción puestos en serie. Departamento de Ingeniería Química, Laboratorio de Operaciones Unitarias, Universidad del Valle de Guatemala.



Fuente: Elaboración propia

Figura 20: Sistema de extracción y destilación realizados al mismo tiempo. Departamento de Ingeniería Química, Laboratorio de Operaciones Unitarias, Universidad del Valle de Guatemala.



Fuente: Elaboración propia

Figura 21: Aceite de café mezclado con solventes luego de la extracción. Departamento de Ingeniería Química, Laboratorio de Operaciones Unitarias, Universidad del Valle de Guatemala.



Fuente: Elaboración propia

Figura 22: Sistemas de extracción de aceite de café y destilación de solventes, puestos en serie. Departamento de Ingeniería Química, Laboratorio de Operaciones Unitarias, Universidad del Valle de Guatemala.



Fuente: Elaboración propia

Figura 23: Sistema de destilación de solventes puesto en baño de arena. Departamento de Ingeniería Química, Laboratorio de Operaciones Unitarias, Universidad del Valle de Guatemala.



Fuente: Elaboración propia

Figura 24: Evaporación de restos de solventes y agua en el aceite de café extraído. Departamento de Ingeniería Química, Laboratorio de Operaciones Unitarias, Universidad del Valle de Guatemala.



Fuente: Elaboración propia

Figura 25: Aceite de café extraído para realizar caracterización. Departamento de Ingeniería Química, Laboratorio de Operaciones Unitarias, Universidad del Valle de Guatemala.



Fuente: Elaboración propia

Figura 26: Filtración al vacío del aceite extraído. Departamento de Ingeniería Química, Laboratorio de Operaciones Unitarias, Universidad del Valle de Guatemala.



Fuente: Elaboración propia

Figura 27: Residuos sólidos generados en la filtración del aceite de café. Departamento de Ingeniería Química, Laboratorio de Operaciones Unitarias, Universidad del Valle de Guatemala.



Fuente: Elaboración propia

Figura 28: Prueba de densidad del aceite de café. Departamento de Ingeniería Química, Laboratorio de Operaciones Unitarias, Universidad del Valle de Guatemala.



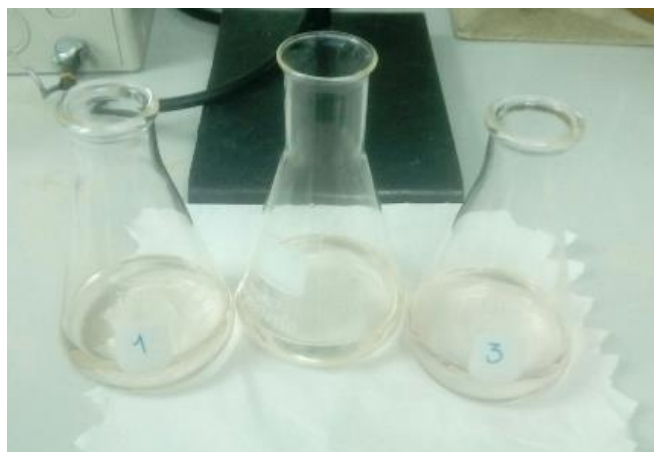
Fuente: Elaboración propia

Figura 29: Refractómetro utilizado para pruebas del índice de refracción del aceite de café. Departamento de Ingeniería Química, Laboratorio de Operaciones Unitarias, Universidad del Valle de Guatemala.



Fuente: Elaboración propia

Figura 30: Pruebas del número ácido del aceite de café por titulación con KOH. Departamento de Ingeniería Química, Laboratorio de Operaciones Unitarias, Universidad del Valle de Guatemala.



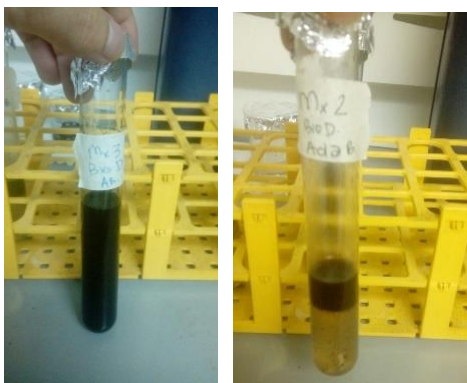
Fuente: Elaboración propia

Figura 31: Reacción de esterificación en medio ácido realizada al aceite de café para la producción de biodiésel. Departamento de Ingeniería Química, Laboratorio de Operaciones Unitarias, Universidad del Valle de Guatemala.



Fuente: Elaboración propia

Figura 32: Muestra de la solución obtenida por la reacción de esterificación en medio ácido y separación de fases posterior al lavado. Departamento de Ingeniería Química, Laboratorio de Operaciones Unitarias, Universidad del Valle de Guatemala.



Fuente: Elaboración propia

Figura 33: sólidos obtenidos en la reacción de esterificación por medio ácido. Departamento de Ingeniería Química, Laboratorio de Operaciones Unitarias, Universidad del Valle de Guatemala.



Fuente: Elaboración propia

Figura 34: Cromatograma de aceite de café extraído, realizado por el cromatógrafo de gases TURBOMASS de la Universidad de San Carlos de Guatemala

890.10.17AEsencial cafe3

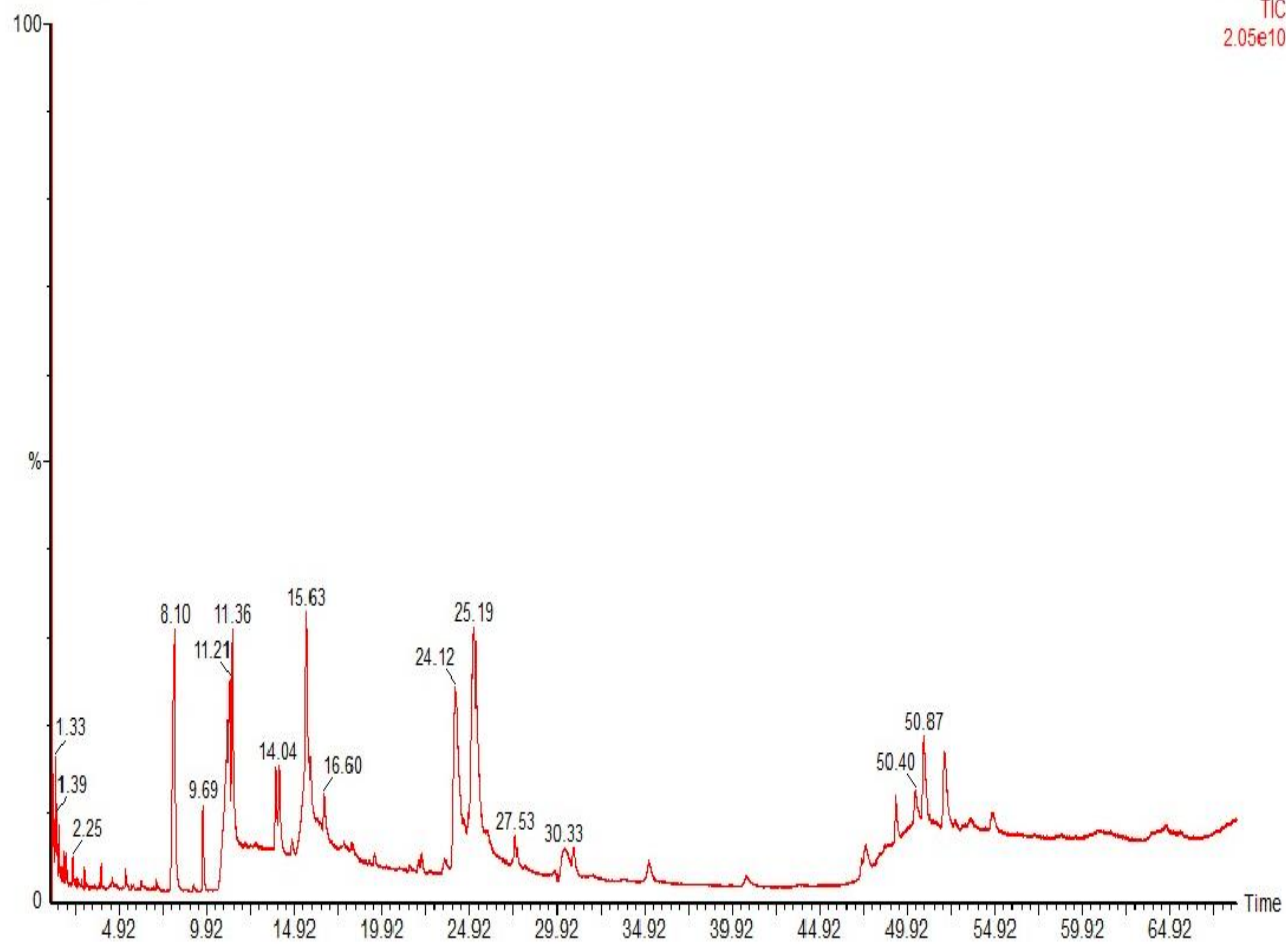
, 13-Oct-2017 + 11:21:12

8901017AEsencial3

Scan EI+

TIC

2.05e10



Fuente: Elaboración propia

Figura 35: Compuestos químicos determinados en el aceite de café por medio de cromatografía de gases. Universidad de San Carlos de Guatemala

Library Search Report

File: C:\TURBOMASS\SEMIVOCS.PRO\Data\8901017AEsencial3.raw
Acquired: 13-Oct-17 11:21:12 AM **Printed:** 13-Oct-17 12:34 PM
Description: 890.10.17AEsencial cafe3
GC/MS Method: GC: Aceite esencia uvq.mth **MS:** Aceite esencial uvq.EXP Page 1 of 11
Sample ID: 890.10.17AEsencial cafe3 **Vial Number:** 38

Pk #	RT	Hit	Compound Name	Match	R.Match	Prob.	CAS	Library
1	1.118	1	2-Furanmethanol	645	984	0.0	98-00-0	replib
		2	3-Furanmethanol	626	928	0.0	4412-91-3	replib
		3	1H-Imidazole-2-methanol	478	886	0.0	3724-26-3	mainlib
2	1.158	1	4-(2-Aminoethyl)benzenesulfonyl fluoride	427	881	0.0		nist_msms
		2	4-(2-Aminoethyl)benzenesulfonyl fluoride	433	872	0.0		nist_msms
		3	4-(2-Aminoethyl)benzenesulfonyl fluoride	425	867	0.0		nist_msms
3	1.193	1	4'-Hydroxy-3'-methoxyacetophenone	208	871	0.0	498-02-2	nist_msms
		2	2-Furancarboxaldehyde, 5-methyl-	349	866	0.0	620-02-0	replib
		3	4'-Hydroxy-3'-methoxyacetophenone	238	832	0.0	498-02-2	nist_msms
4	1.273	1	Tricyclo[2.2.1.0(1,4)]heptan-2-one, 6-nitro-	478	940	0.0	56866-50-3	mainlib
		2	Benzyl alcohol	740	929	0.0	100-51-6	replib
		3	Benzyl alcohol	747	926	0.0	100-51-6	mainlib
5	1.328	1	4(1H)-Pyridone	863	983	0.0	108-96-3	mainlib
		2	3-Pyridinol	922	979	0.0	109-00-2	replib
		3	4-Pyridinol	909	972	0.0	626-84-2	mainlib
6	1.359	1	Acetamide, oxime	397	950	0.0	22059-22-9	mainlib
		2	2-Methylheptanoic acid	562	915	0.0	1188-02-9	mainlib
		3	Octanoic acid, methyl ester	660	906	0.0	111-11-5	replib
7	1.388	1	Maltol	779	919	0.0	118-71-8	replib
		2	tert-Amyl alcohol	226	914	0.0	75-85-4	nist_msms
		3	Maltol	744	904	0.0	118-71-8	replib
8	1.419	1	1H-Pyrrole, 2-methyl-	342	907	0.0	636-41-9	replib
		2	2(1H)-Pyridinone, 5-methyl-	547	886	0.0	1003-68-5	replib
		3	3-Hydroxy-1-methylpyridinium hydroxide	542	881	0.0		mainlib
9	1.529	1	Catechol	800	985	0.0	120-80-9	replib
		2	Catechol	798	982	0.0	120-80-9	replib
		3	Catechol	794	978	0.0	120-80-9	mainlib
10	1.709	1	1,2-Benzisothiazole	523	926	0.0	272-16-2	mainlib
		2	1,2,3-Benzothiadiazole	233	898	0.0	273-77-8	replib
		3	Thieno[3,2-c]pyridine	480	879	0.0	272-14-0	mainlib

Inst() ACQUISITION PARAMETERS
Over: Initial temp 160°C for 1 min, ramp 3°C/min to 235°C, hold 20 min, ramp 20°C/min to 290°C, hold 20 min, Inj=250°C,
Volume=0 µL, Split=5:1, Carrier Gas=He, Solvent Delay=1.10 min, Transfer Temp=230°C, Source Temp=230°C, Scan: 10 to 400Da, Column 60.0m x 250µm

Fuente: Elaboración propia

Continuación figura 35

Library Search Report

File: C:\TURBOMASS\SEMIVOCs.PRO\Data\8901017AEsencial3.raw
 Acquired: 13-Oct-17 11:21:12 AM Printed: 13-Oct-17 12:34 PM
 Description: 890.10.17AEsencial cafe3
 GC/MS Method: GC: Aceite esencia uvq.mth MS: Aceite esencial uvq.EXP Page 2 of 11
 Sample ID: 890.10.17AEsencial cafe3 Vial Number: 38

PK #	RT	Hit	Compound Name	Match	R.Match	Prob.	CAS	Library
11	1.834	1	Furan, 2,2'-[oxybis(methylene)]bis-	381	957	0.0	4437-22-3	replib
		2	2,4-Dihydroxybenzoic acid	414	932	0.0	89-86-1	nist_msms
		3	Gentisic acid	410	927	0.0	490-79-9	nist_msms
12	1.929	1	4-Acetoxy-3-methoxystyrene	482	926	0.0	46316-15-8	mainlib
		2	exo-Norbomeol	238	925	0.0	497-37-0	nist_msms
		3	Tricyclo[2.2.1.0(1,4)]heptan-2-one, 6-nitro-	273	923	0.0	56866-50-3	mainlib
13	2.254	1	Tetradecane	411	968	0.0	629-59-4	replib
		2	Pentadecane	397	952	0.0	629-62-9	replib
		3	Undecane	354	942	0.0	1120-21-4	replib
14	2.554	1	1H-Benzocycloheptene, 2,4a,5,6,7,8,9,9a-octahydro-3,5,5-trimethyl-9-methylene-, (4aS-cis)-	704	933	0.0	3853-83-6	replib
		2	Naphthalene, 1,2,3,5,6,7,8,8a-octahydro-1,8a-dimethyl-7-(1-methylethenyl)-, [1R-(1á,7á,8aá)]-	661	931	0.0	4630-07-3	replib
		3	2-Methyl-2-bornene	495	916	0.0	72540-93-3	mainlib
15	2.769	1	Cyclobutanone, 2-methyl-2-oxiranyl-	235	947	0.0	75314-19-1	mainlib
		2	8-Chloro-1-octanol	132	934	0.0	23144-52-7	nist_msms
		3	2-Methyl-1,4-butanediol	125	926	0.0	2938-98-9	nist_msms
16	2.934	1	Pentadecane	793	981	0.0	629-62-9	replib
		2	Nonadecane	790	979	0.0	629-92-5	replib
		3	Tetradecane	781	979	0.0	629-59-4	replib
17	3.054	1	Phenol, 2,5-bis(1,1-dimethylethyl)-	709	916	0.0	5875-45-6	replib
		2	6-Fluoro-2-trifluoromethylbenzoic acid, 2-formyl-4,6-dichlorophenyl ester	371	911	0.0		mainlib
		3	2-Fluoro-6-trifluoromethylbenzoic acid, 2,3,4,6-tetrachlorophenyl ester	381	910	0.0		mainlib
18	3.839	1	10-Chloro-1-decanol	422	962	0.0	51309-10-5	nist_msms
		2	Phytol	436	961	0.0	7541-49-3	nist_msms
		3	10-Chloro-1-decanol	374	958	0.0	51309-10-5	nist_msms
19	3.924	1	Hexadecane	927	982	0.0	544-76-3	replib
		2	Hexadecane	918	978	0.0	544-76-3	replib
		3	Tetradecane	889	978	0.0	629-59-4	replib
20	4.385	1	Pentane, 1-propoxy-	226	950	0.0	18641-82-2	mainlib
		2	DL-Arabinose	202	937	0.0	147-81-9	nist_msms
		3	D(-)-Lyxose	194	919	0.0	1114-34-7	nist_msms

Inst() ACQUISITION PARAMETERS

Oven: Initial temp 160°C for 1 min, ramp 3°C/min to 235°C, hold 20 min, ramp 20°C/min to 290°C, hold 20 min, Inj=250°C,
 Volume=0 µL, Split=5:1, Carrier Gas=He, Solvent Delay=1.10 min, Transfer Temp=230°C, Source Temp=230°C, Scan: 10 to
 400Da, Column 60.0m x 250µm

Fuente: Elaboración propia

Continuación figura 35

Library Search Report

File: C:\TURBOMASS\SEMIVOCS.PRO\Data\8901017A\Esencial3.raw
 Acquired: 13-Oct-17 11:21:12 AM Printed: 13-Oct-17 12:34 PM
 Description: 890.10.17A\Esencial cafe3
 GC/MS Method: GC: Aceite esencia uvq.mth MS: Aceite esencial uvq.EXP Page 3 of 11
 Sample ID: 890.10.17A\Esencial cafe3 Vial Number: 38

Pk #	RT	Hit	Compound Name	Match	R.Match	Prob.	CAS	Library
21	4.505	1	Undecane	693	956	0.0	1120-21-4	replib
		2	Pentadecane	797	954	0.0	629-62-9	replib
		3	Tetracosane	800	951	0.0	646-31-1	replib
22	4.740	1	á-Citronellol	322	922	0.0	106-22-9	nist_msms
		2	Cyclohexane, octadecyl-	452	920	0.0	4445-06-1	replib
		3	10-Chloro-1-decanol	316	920	0.0	51309-10-5	nist_msms
23	5.280	1	Heptadecane	929	983	0.0	629-78-7	replib
		2	Heptadecane	944	982	0.0	629-78-7	replib
		3	Nonadecane	909	976	0.0	629-92-5	replib
24	5.735	1	Phenol, 2-(1-phenylethyl)-	487	992	0.0	4237-44-9	mainlib
		2	Sulfoxide, methyl phenethyl	177	988	0.0	7714-32-1	mainlib
		3	Phenol, 4-(1-phenylethyl)-	428	987	0.0	1988-88-2	mainlib
25	6.220	1	Butanedioic acid, phenyl-	626	956	0.0	635-51-8	replib
		2	Styrene	652	945	0.0	100-42-5	replib
		3	Benzene, 1,1'-(1,2-cyclobutanediyl)bis-, trans-	782	940	0.0	20071-09-4	mainlib
26	6.335	1	D-(-)-Ribose	296	910	0.0	50-89-1	nist_msms
		2	D-Arabinose	285	910	0.0	28697-53-2	nist_msms
		3	DL-Arabinose	283	909	0.0	147-81-9	nist_msms
27	7.021	1	Pentadecane	887	973	0.0	629-62-9	replib
		2	Octadecane	929	971	0.0	593-45-3	replib
		3	Heptadecane	906	969	0.0	629-78-7	replib
28	8.101	1	Caffeine	984	994	0.0	58-08-2	replib
		2	Caffeine	990	991	0.0	58-08-2	mainlib
		3	Caffeine	989	990	0.0	58-08-2	replib
29	9.132	1	Tetracosane	801	973	0.0	646-31-1	replib
		2	Nonadecane	796	966	0.0	629-92-5	replib
		3	Heptadecane	792	955	0.0	629-78-7	replib
30	9.687	1	Hexadecanoic acid, methyl ester	947	991	0.0	112-39-0	replib
		2	Hexadecanoic acid, methyl ester	968	989	0.0	112-39-0	mainlib
		3	Hexadecanoic acid, methyl ester	974	986	0.0	112-39-0	replib
31	11.212	1	10-Chloro-1-decanol	277	990	0.0	51309-10-5	nist_msms

Inst() ACQUISITION PARAMETERS

Oven: Initial temp 180°C for 1 min, ramp 3°C/min to 235°C, hold 20 min, ramp 20°C/min to 290°C, hold 20 min, Inj=250°C,
 Volume=0 µL, Split=5:1, Carrier Gas=He, Solvent Delay=1.10 min, Transfer Temp=230°C, Source Temp=230°C, Scan: 10 to
 400Da, Column 60.0m x 250µm

Fuente: Elaboración propia

Continuación figura 35

Library Search Report

File: C:\TURBOMASS\SEMIVOCs.PRO\Data\8901017A\Esencial3.raw
 Acquired: 13-Oct-17 11:21:12 AM Printed: 13-Oct-17 12:34 PM
 Description: 890.10.17A\Esencial cafe3
 GC/MS Method: GC: Aceite esencia uvq.mth MS: Aceite esencial uvq.EXP Page 4 of 11
 Sample ID: 890.10.17A\Esencial cafe3 Vial Number: 38

Pk #	RT	Hit	Compound Name	Match	R.Match	Prob.	CAS	Library
		2	n-Hexadecanoic acid	982	985	0.0	57-10-3	replib
		3	n-Hexadecanoic acid	973	973	0.0	57-10-3	replib
32	11.362	1	2,4,6-Trimethyl-1-nonene	186	988	0.0	55771-40-9	mainlib
		2	Hexadecanoic acid, ethyl ester	983	983	0.0	628-97-7	mainlib
		3	Hexadecanoic acid, ethyl ester	936	956	0.0	628-97-7	replib
33	11.813	1	9-Oxononanoic acid	399	808	0.0	2553-17-5	mainlib
		2	12-Bromododecanoic acid	440	771	0.0	73367-80-3	replib
		3	D-(+)-Xylose	231	759	0.0	58-86-6	nist_msms
34	11.928	1	Cyclohexane, 1,1'-[1,2-bis(1,1-dimethylethyl)-1,2-ethanediyl]bis-, (R ¹ ,R ²)-(R ¹ ,R ²)-	284	841	0.0	65149-85-1	mainlib
		2	1-Methyl-cyclohexyl propionate	340	828	0.0	91328-37-9	mainlib
		3	10-Chloro-1-decanol	215	823	0.0	51309-10-5	nist_msms
35	12.113	1	D-Gluconic acid	207	915	0.0	526-95-4	nist_msms
		2	D-Erythronic acid γ -lactone	190	888	0.0	15687-21-7	nist_msms
		3	D-Gluconic acid	155	887	0.0	526-95-4	nist_msms
36	12.693	1	Silane, (1,2-dimethylpropoxy)trimethyl-	301	917	0.0	18246-76-9	replib
		2	Silane, trimethyl(1-methylbutoxy)-	312	882	0.0	1825-67-8	replib
		3	Hexadecanoic acid, trimethylsilyl ester	494	859	0.0	55520-89-3	replib
37	13.838	1	9,15-Octadecadienoic acid, methyl ester, (Z,Z)-	637	980	0.0	17309-05-6	replib
		2	9,12-Octadecadienoic acid, methyl ester, (E,E)-	845	976	0.0	2566-97-4	replib
		3	9,12-Octadecadienoic acid (Z,Z)-, methyl ester	916	974	0.0	112-63-0	replib
38	14.043	1	11-Octadecenoic acid, methyl ester	951	952	0.0	52380-33-3	replib
		2	cis-13-Octadecenoic acid, methyl ester	950	951	0.0		mainlib
		3	9-Octadecenoic acid (Z)-, methyl ester	948	951	0.0	112-62-9	replib
39	14.789	1	Undecanoic acid, 2-methyl-	748	943	0.0	24323-25-9	mainlib
		2	Decanoic acid, 2-methyl-	681	942	0.0	24323-23-7	mainlib
		3	Methyl stearate	811	934	0.0	112-61-8	replib
40	15.629	1	Linoleic acid ethyl ester	883	978	0.0	544-35-4	replib
		2	9,12-Octadecadienoic acid, ethyl ester	944	976	0.0	7619-08-1	mainlib
		3	Ethyl 9,12-hexadecadienoate	926	965	0.0		mainlib
41	16.599	1	Octadecanoic acid, ethyl ester	879	930	0.0	111-61-5	replib

Inst() ACQUISITION PARAMETERS

Over: Initial temp 180°C for 1 min, ramp 3°C/min to 235°C, hold 20 min, ramp 20°C/min to 290°C, hold 20 min, Inj=250°C,
 Volume=0 μ L, Split=5:1, Carrier Gas=He, Solvent Delay=1.10 min, Transfer Temp=230°C, Source Temp=230°C, Scan: 10 to
 400Da, Column 60.0m x 250 μ m

Fuente: Elaboración propia

Continuación figura 35

Library Search Report

File: C:\TURBOMASS\SEMIVOCS.PRO\Data\8901017A\Esencial3.raw
 Acquired: 13-Oct-17 11:21:12 AM Printed: 13-Oct-17 12:34 PM
 Description: 890.10.17A\Esencial cafe3
 GC/MS Method: GC: Aceite esencia uvq.mth MS: Aceite esencial uvq.EXP Page 5 of 11
 Sample ID: 890.10.17A\Esencial cafe3 Vial Number: 38

PK #	RT	Hit	Compound Name	Match	R.Match	Prob.	CAS	Library
		2	Octadecanoic acid, 17-methyl-, methyl ester	875	928	0.0	55124-97-5	replib
		3	Octadecanoic acid, ethyl ester	915	920	0.0	111-61-5	replib
42	17.790	1	DL-Arabinose	309	900	0.0	147-81-9	nist_msms
		2	DL-Arabinose	308	897	0.0	147-81-9	nist_msms
		3	8-Chloro-1-octanol	248	894	0.0	23144-52-7	nist_msms
43	17.915	1	Dimethyl 2-carbethoxy-cyclopropane-1,1-dicarboxylate	85	782	0.0	114805-16-2	mainlib
		2	Hydromorphone	59	758	0.0	466-99-9	nist_msms
		3	1,5-cis,8-cis-Undecatriene-3,7-diol bis(trimethylsilyl)ether	98	743	0.0	69948-50-1	mainlib
44	18.210	1	9,15-Octadecadienoic acid, methyl ester, (Z,Z)-	649	933	0.0	17309-05-6	replib
		2	trans,cis-1,8-Dimethylspiro[4.5]decane	417	916	0.0		mainlib
		3	Bicyclo[4.1.0]heptane, 7-pentyl-	413	912	0.0	41977-45-1	mainlib
45	19.200	1	Melibiose	140	871	0.0	585-99-9	nist_msms
		2	Melibiose	137	804	0.0	585-99-9	nist_msms
		3	L-Fucitol	183	797	0.0	13074-06-1	nist_msms
46	19.496	1	Tetraacosane	771	953	0.0	646-31-1	replib
		2	Dodecane, 2,6,10-trimethyl-	741	938	0.0	3891-98-3	replib
		3	Nonadecane	775	937	0.0	629-92-5	replib
47	21.496	1	Furfuryl hexanoate	629	864	0.0	39252-02-3	mainlib
		2	Furfuryl heptanoate	661	846	0.0	39481-28-2	replib
		3	myo-Inositol	313	842	0.0	87-89-8	nist_msms
48	22.027	1	DL-Arabinose	168	984	0.0	147-81-9	nist_msms
		2	DL-Arabinose	189	982	0.0	147-81-9	nist_msms
		3	DL-Arabinose	191	978	0.0	147-81-9	nist_msms
49	22.197	1	Tetraacosane	788	969	0.0	646-31-1	replib
		2	Heptadecane	772	952	0.0	629-78-7	replib
		3	Nonadecane	757	948	0.0	629-92-5	replib
50	23.452	1	1H-Benzimidazole, 5,6-dimethyl-	475	896	0.0	582-80-5	replib
		2	Benzene, (1,2-dicyclopropyl-2-phenylethyl)-	375	884	0.0	110330-90-0	mainlib
		3	1H-Indene, 2,3-dihydro-4,7-dimethyl-	550	872	0.0	6682-71-9	replib
51	24.122	1	1H-Benzimidazole, 5,6-dimethyl-	467	932	0.0	582-80-5	replib

Inst() ACQUISITION PARAMETERS

Oven: Initial temp 160°C for 1 min, ramp 3°C/min to 235°C, hold 20 min, ramp 20°C/min to 290°C, hold 20 min, Inj=250°C,
 Volume=0 µL, Split=5:1, Carrier Gas=He, Solvent Delay=1.10 min, Transfer Temp=230°C, Source Temp=230°C, Scan: 10 to
 400Da, Column 60.0m x 250µm

Fuente: Elaboración propia

Continuación figura 35

Library Search Report

File: C:\TURBOMASS\SEMIVOCS.PRO\Data\8901017AEsencial3.raw
 Acquired: 13-Oct-17 11:21:12 AM Printed: 13-Oct-17 12:34 PM
 Description: 890.10.17AEsencial cafe3
 GC/MS Method: GC: Aceite esencia uvq.mth MS: Aceite esencial uvq.EXP Page 6 of 11
 Sample ID: 890.10.17AEsencial cafe3 Vial Number: 38

PK #	RT	Hit	Compound Name	Match	R.Match	Prob.	CAS	Library
		2	1H-Pyrrolo[2,3-b]pyridine, 2-ethyl-	461	896	0.0	23612-49-9	mainlib
		3	5,10-Pentadecadiyne, 1-chloro-	145	881	0.0	64275-44-1	mainlib
52	24.578	1	DL-à-Lipoamide	183	865	0.0	3206-73-3	nist_msms
		2	Cyclohexene, 1,5,5-trimethyl-6-(2-propenylidene)-	168	852	0.0	56248-17-0	mainlib
		3	5,8-Methano-1,7-dioxacyclopent[cd]azulene-2,6-dione, octahydro-2a,9-dihydroxy-8b-methyl-9-(1-methylethyl)-, [2aR-(2aà,4aà,5aà,8aà,8bà,9R ¹)]-	165	852	0.0	70219-70-4	mainlib
53	24.878	1	Tetracosane	793	974	0.0	646-31-1	replib
		2	Eicosane	807	953	0.0	112-95-8	mainlib
		3	Hexacosane	795	952	0.0	630-01-3	replib
54	25.193	1	Tricyclo[3.2.1.0(2,4)]octan-8-one, 3,3-dimethyl-, (1à,2à,4à,5à)-	218	906	0.0	66930-01-6	mainlib
		2	Nitrous acid, 3-phenylpropyl ester	313	896	0.0	28537-55-5	mainlib
		3	2,6-Dimethyl-1,3,6-heptatriene	307	888	0.0	928-67-6	mainlib
55	25.783	1	Indolizine, 5-methyl-	104	743	0.0	1761-19-9	mainlib
		2	Indolizine, 2-methyl-	103	739	0.0	768-18-3	mainlib
		3	1'-Acetyl-2'-(1,2-dihydroquinoxalin-2-yl)-1',2'-dihydroquinoline	135	724	0.0	95234-58-5	mainlib
56	25.883	1	L-Histidinol	213	913	0.0	4836-52-6	nist_msms
		2	L-Histidinol	218	906	0.0	4836-52-6	nist_msms
		3	L-Histidinol	196	898	0.0	4836-52-6	nist_msms
57	27.534	1	Hexacosane	898	971	0.0	630-01-3	replib
		2	Tetracosane	873	971	0.0	646-31-1	replib
		3	Heneicosane	921	969	0.0	629-94-7	replib
58	28.119	1	4,5-Dichloro-N-((1,2,3,4-tetrahydroisoquinolin-2-yl)methyl)phthalimide	98	862	0.0	96919-04-9	mainlib
		2	Ethaneperoxoic acid, 1-cyano-2-methyl-1-phenylpropyl ester	119	691	0.0	58422-72-3	mainlib
		3	Ser-Ala	128	684	0.0		nist_msms
59	29.555	1	(3-Carboxypropyl)trimethylammonium cation	69	962	0.0		nist_msms
		2	(3-Carboxypropyl)trimethylammonium cation	66	926	0.0		nist_msms
		3	(3-Carboxypropyl)trimethylammonium cation	63	909	0.0		nist_msms
60	29.825	1	DL-Arabinose	144	961	0.0	147-81-9	nist_msms
		2	DL-Arabinose	143	955	0.0	147-81-9	nist_msms
		3	DL-Arabinose	147	950	0.0	147-81-9	nist_msms

Inst() ACQUISITION PARAMETERS

Oven: Initial temp 180°C for 1 min, ramp 3°C/min to 235°C, hold 20 min, ramp 20°C/min to 290°C, hold 20 min, Inj=250°C,
 Volume=0 µL, Split=5:1, Carrier Gas=He, Solvent Delay=1.10 min, Transfer Temp=230°C, Source Temp=230°C, Scan: 10 to 400Da, Column 60.0m x 250µm

Fuente: Elaboración propia

Continuación figura 35

Library Search Report

File: C:\TURBOMASS\SEMIVOCS.PRO\Data\8901017AEsencial3.raw
 Acquired: 13-Oct-17 11:21:12 AM Printed: 13-Oct-17 12:34 PM
 Description: 890.10.17AEsencial cafe3
 GC/MS Method: GC: Aceite esencia uvq.mth MS: Aceite esencial uvq.EXP Page 7 of 11
 Sample ID: 890.10.17AEsencial cafe3 Vial Number: 38

Pk #	RT	Hit	Compound Name	Match	R.Match	Prob.	CAS	Library
61	30.330	1	5,10-Pentadecadien-1-ol, (Z,Z)-	191	950	0.0	64275-51-0	mainlib
		2	5,10-Pentadecadienoic acid, (Z,Z)-	178	950	0.0	64275-80-0	mainlib
		3	5,10-Pentadecadienoic acid, (E,E)-	175	947	0.0	64275-88-9	mainlib
62	30.840	1	Heneicosane	919	983	0.0	629-94-7	mainlib
		2	Heneicosane	921	959	0.0	629-94-7	replib
		3	Doocosane	910	957	0.0	629-97-0	replib
63	31.415	1	Cyclohexanemethanol, 4-methyl-, cis-	110	713	0.0	3937-48-2	mainlib
		2	2,4,7,9-Tetramethyl-5-decyne-4,7-diol	91	682	0.0	126-86-3	nist_msms
		3	Ascorbic acid	114	681	0.0	50-81-7	nist_msms
64	32.040	1	cis-1-Cyano-2-phenylcyclopropanol	107	900	0.0	5362-45-8	mainlib
		2	trans-1-Cyano-2-phenylcyclopropanol	107	896	0.0	5508-33-8	mainlib
		3	s-Triazolo[4,3-a]pyridine, 3,8-dimethyl-	135	856	0.0	13936-48-6	mainlib
65	35.157	1	Tetracosane	802	973	0.0	646-31-1	replib
		2	Nonadecane	791	946	0.0	629-92-5	replib
		3	Hexacosane	855	943	0.0	630-01-3	replib
66	40.739	1	Tetracosane	787	964	0.0	646-31-1	replib
		2	Hexacosane	818	957	0.0	630-01-3	replib
		3	Heptadecane	794	957	0.0	629-78-7	replib
67	41.044	1	Thionyl chloride	115	843	0.0	7719-09-7	replib
		2	Methane, oxybis(dichloro-	103	815	0.0	20524-86-1	mainlib
		3	Thionyl chloride	122	759	0.0	7719-09-7	mainlib
68	47.076	1	Ethanone, 1-cyclohexyl-	147	861	0.0	823-76-7	replib
		2	Binapacryl	157	849	0.0	485-31-4	replib
		3	Oxirane, 2-(chloromethyl)-2-(1,1-dimethylethyl)-	148	844	0.0	121505-38-2	mainlib
69	47.547	1	D-(+)-Xylose	112	979	0.0	58-86-6	nist_msms
		2	10-Chloro-1-decanol	131	973	0.0	51309-10-5	nist_msms
		3	DL-Arabinose	115	989	0.0	147-81-9	nist_msms
70	49.232	1	Tetracosane	548	957	0.0	646-31-1	replib
		2	Hentriacontane	616	946	0.0	630-04-6	replib
		3	1-Decanol, 2-hexyl-	556	943	0.0	2425-77-6	replib
71	50.398	1	1,1,1-Tris(hydroxymethyl)propane	119	971	0.0	77-99-6	nist_msms

Inst() ACQUISITION PARAMETERS

Over: Initial temp 180°C for 1 min, ramp 3°C/min to 235°C, hold 20 min, ramp 20°C/min to 290°C, hold 20 min, Inj=250°C,
 Volume=0 µL, Split=5:1, Carrier Gas=He, Solvent Delay=1.10 min, Transfer Temp=230°C, Source Temp=230°C, Scan: 10 to
 400Da, Column 60.0m x 250µm

Fuente: Elaboración propia

Continuación figura 35

Library Search Report

File: C:\TURBOMASS\SEMIVOCS.PRODData\8901017AEsencial3.raw
 Acquired: 13-Oct-17 11:21:12 AM Printed: 13-Oct-17 12:34 PM
 Description: 890.10.17AEsencial cafe3
 GC/MS Method: GC: Aceite esencia uvq.mth MS: Aceite esencial uvq.EXP Page 8 of 11
 Sample ID: 890.10.17AEsencial cafe3 Vial Number: 38

PK #	RT	Hit	Compound Name	Match	R.Match	Prob.	CAS	Library
		2	1,1,1-Tris(hydroxymethyl)propane	118	959	0.0	77-99-6	nist_msms
		3	1,1,1-Tris(hydroxymethyl)propane	127	942	0.0	77-99-6	nist_msms
72	50.873	1	10-Chloro-1-decanol	200	974	0.0	51309-10-5	nist_msms
		2	2-Isopropyl-5-methylcyclohexyl 3-(1-(4-chlorophenyl)-3-oxobutyl)-coumarin-4-yl carbonate	248	959	0.0		mainlib
		3	10-Chloro-1-decanol	197	957	0.0	51309-10-5	nist_msms
73	52.028	1	Δ-Sitosterol	912	930	0.0	83-46-5	replib
		2	γ-Sitosterol	915	920	0.0	83-47-6	mainlib
		3	2,4,7,9-Tetramethyl-5-decyl-4,7-diol	169	915	0.0	126-86-3	nist_msms
74	52.659	1	2-Decanol	403	981	0.0	1120-06-5	nist_msms
		2	2-Decanol	398	968	0.0	1120-06-5	nist_msms
		3	2-Decanol	392	954	0.0	1120-06-5	nist_msms
75	53.514	1	D-Erythronic acid γ-lactone	208	929	0.0	15667-21-7	nist_msms
		2	4-Octene, 2,3,6,7-tetramethyl-	210	919	0.0	63830-86-0	mainlib
		3	1,2-Pentanediol, 5-(6-bromodecahydro-2-hydroxy-2,5,5a,8a-tetramethyl-1-naphthalenyl)-3-methylene-	362	916	0.0	115346-29-7	mainlib
76	54.769	1	1,2-Pentanediol, 5-(6-bromodecahydro-2-hydroxy-2,5,5a,8a-tetramethyl-1-naphthalenyl)-3-methylene-	411	942	0.0	115346-29-7	mainlib
		2	2-Methyl-3-(3-methyl-but-2-enyl)-2-(4-methyl-pent-3-enyl)-oxetane	289	937	0.0		mainlib
		3	5-Acetoxyethyl-2,6,10-trimethyl-2,9-undecadien-6-ol	286	920	0.0		mainlib
77	57.145	1	2-Decanol	188	862	0.0	1120-06-5	nist_msms
		2	2-Decanol	190	851	0.0	1120-06-5	nist_msms
		3	2-Decanol	187	836	0.0	1120-06-5	nist_msms
78	58.711	1	Dodecanoic acid	140	836	0.0	143-07-7	nist_msms
		2	3α,7α,12α-Trihydroxy-5α-cholanic acid	266	730	0.0	81-25-4	nist_msms
		3	Sorbitan monopalmitate	180	723	0.0	26266-57-9	nist_msms
79	59.546	1	8-Chloro-1-octanol	142	911	0.0	23144-52-7	nist_msms
		2	8-Chloro-1-octanol	139	898	0.0	23144-52-7	nist_msms
		3	8-Chloro-1-octanol	149	889	0.0	23144-52-7	nist_msms
80	60.427	1	1H-Benzimidazole, 5,6-dimethyl-	210	881	0.0	582-60-5	replib
		2	1H-Pyrrolo[2,3-b]pyridine, 2-ethyl-	208	838	0.0	23612-49-9	mainlib
		3	Xanthine	111	767	0.0	69-89-6	nist_msms

Inst() ACQUISITION PARAMETERS

Over: Initial temp 160°C for 1 min, ramp 3°C/min to 235°C, hold 20 min, ramp 20°C/min to 290°C, hold 20 min, Inj=250°C,
 Volume=0 µL, Split=5:1, Carrier Gas=He, Solvent Delay=1.10 min, Transfer Temp=230°C, Source Temp=230°C, Scan: 10 to
 400Da, Column 60.0m x 250µm

Fuente: Elaboración propia

Continuación figura 35

Library Search Report

File: C:\TURBOMASS\SEMIVOCS.PRO\Data\8901017A\Esencial3.raw
 Acquired: 13-Oct-17 11:21:12 AM Printed: 13-Oct-17 12:34 PM
 Description: 890.10.17A\Esencial cafe3
 GC/MS Method: GC: Aceite esencia uvq.mth MS: Aceite esencial uvq.EXP Page 9 of 11
 Sample ID: 890.10.17A\Esencial cafe3 Vial Number: 38

Pk #	RT	Hit	Compound Name	Match	R.Match	Prob.	CAS	Library
81	60.762	1	2-(4-Methoxyphenyl)-1H-imidazo[2,1-c][1,4]benzoxazine #	116	835	0.0		mainlib
		2	1H-Benzimidazole, 5,6-dimethyl-	225	832	0.0	582-60-5	replib
		3	1H-Pyrrolo[2,3-b]pyridine, 2-ethyl-	225	817	0.0	23612-49-9	mainlib
82	61.552	1	Ethyl trans-7-oxa-7-(2-methyl-6,10-dithiaspiro[4.5]decan-1-yl)heptanoate	135	713	0.0	92640-74-9	mainlib
		2	1H-Benzimidazole, 2-pentyl-	119	703	0.0	5851-46-7	mainlib
		3	9,19-Cyclocholest-24-en-3-ol, 14-methyl-, acetate, (3á,5á)-	152	696	0.0	68654-81-9	mainlib
83	61.847	1	Bicyclo[4.1.0]heptane, 7-methylene-	105	822	0.0	54211-14-2	replib
		2	7-Thiaprotadamantane 7,7-dioxide	131	807	0.0	83570-55-2	mainlib
		3	Benzeneethanol, á-(2-methylpropyl)-	129	748	0.0	7779-78-4	mainlib
84	61.932	1	4-Heptenal, (E)-	140	833	0.0	929-22-6	mainlib
		2	N-Methoxy-N-trifluoroacetyl-1,1-dimethyl-2-carbomethoxyethylamine	169	822	0.0	78190-92-8	mainlib
		3	3-Hexene, 1-(1-ethoxyethoxy)-, (Z)-	144	799	0.0	28069-74-1	mainlib
85	62.082	1	3-Buten-2-one, 3-methyl-	118	844	0.0	814-78-8	replib
		2	Furan, 2,3-dihydro-3-methyl-	123	814	0.0	1708-27-6	mainlib
		3	2-Butene, 2,3-dimethyl-	122	811	0.0	563-79-1	replib
86	62.187	1	Pimelic acid	128	752	0.0	111-16-0	nist_msms
		2	N-(Dimethylthiophosphinyl)allylamine	93	750	0.0	69722-94-5	mainlib
		3	3-Methyl-4-(methoxycarbonyl)hexa-2,4-dienoic acid	148	714	0.0		mainlib
87	62.282	1	Lys-Gln-Lys	81	767	0.0		nist_msms
		2	Gln-Asn	92	764	0.0		nist_msms
		3	Gln-Glu-Lys	81	749	0.0		nist_msms
88	62.397	1	3-Buten-2-ol, 4-(2,2,6-trimethyl-7-oxabicyclo[4.1.0]hept-1-yl)-	119	774	0.0	51138-08-0	mainlib
		2	3-Methylxanthine	165	760	0.0	1076-22-8	nist_msms
		3	1-Deoxynojirimycin	127	683	0.0	19130-96-2	nist_msms
89	62.627	1	Lys-Leu	93	745	0.0		nist_msms
		2	1,2-Ethanediamine, N,N,N'-trichloro-N',1,1,2,2-pentafluoro-	130	729	0.0	105882-92-6	mainlib
		3	Disilane, 1,1'-(1,2-ethanediy)bis[1,1,2,2,2-pentamethyl-	146	716	0.0	54833-67-9	mainlib
90	63.898	1	Cyclohexene, 1,5,5-trimethyl-6-(2-propenylidene)-	156	926	0.0	56248-17-0	mainlib
		2	5,10-Pentadecadiyn-1-ol	136	905	0.0	64275-50-9	mainlib

Inst() ACQUISITION PARAMETERS

Oven: Initial temp 180°C for 1 min, ramp 3°C/min to 235°C, hold 20 min, ramp 20°C/min to 290°C, hold 20 min, Inj=250°C, Volume=0 µL, Split=5:1, Carrier Gas=He, Solvent Delay=1.10 min, Transfer Temp=230°C, Source Temp=230°C, Scan: 10 to 400Da, Column 60.0m x 250µm

Fuente: Elaboración propia

Continuación figura 35

Library Search Report

File: C:\TURBOMASS\SEMIVOCS.PRO\Data\8901017A\Esencial3.raw
 Acquired: 13-Oct-17 11:21:12 AM Printed: 13-Oct-17 12:34 PM
 Description: 890.10.17A\Esencial cafe3
 GC/MS Method: GC: Aceite esencia uvq_mth MS: Aceite esencial uvq_EXP Page 10 of 11
 Sample ID: 890.10.17A\Esencial cafe3 Vial Number: 38

Pk #	RT	Hit	Compound Name	Match	R.Match	Prob.	CAS	Library
		3	Benzofuran, 2,3-dihydro-5-methyl-2- [(methylsulfonyl)methyl]-	235	885	0.0	81077-76-1	mainlib
91	63.983	1	1H-Imidazole-4-carboxaldehyde	93	821	0.0	3034-50-2	mainlib
		2	Norbormane, 2-isobutyl-	105	774	0.0	18127-14-5	replib
		3	4-Pyridinol, acetate (ester)	95	761	0.0	14210-20-9	mainlib
92	64.213	1	Ethanedioic acid, bis(trimethylsilyl) ester	137	830	0.0	18294-04-7	replib
		2	9H-Purine, 9-(trimethylsilyl)-8-[(trimethylsilyl)oxy]-	163	750	0.0	17962-89-9	replib
		3	Ethanedioic acid, bis(trimethylsilyl) ester	153	746	0.0	18294-04-7	replib
93	64.333	1	Carbonic acid, dithio-, S-methyl O-(2- methylcyclohexyl) ester, trans-	131	855	0.0	15288-13-8	mainlib
		2	Isoxazole, trimethyl-	128	798	0.0	10557-82-1	mainlib
		3	Carbonic acid, dithio-, S-methyl O-(2- methylcyclohexyl) ester, cis-	139	744	0.0	15288-12-7	mainlib
94	64.408	1	Seleno-L-methionine	94	797	0.0	3211-76-5	nist_msms
		2	Naphthoresorcinol	119	790	0.0	132-86-5	nist_msms
		3	1,7,7-Trimethyl-2-(α -cyclohexyl-benzylimino)- bicyclo(2,2,1)heptane	94	782	0.0	115148-81-3	mainlib
95	64.648	1	D-Arabino-Hexonic acid, 3-deoxy-2,5,6-tris-O- (trimethylsilyl)-, β -lactone	111	744	0.0	33648-66-7	mainlib
		2	Bicyclo[5.1.0]octane, 8-methylene-	113	743	0.0	54211-15-3	mainlib
		3	2(1H)-Pteridinone, 6-methyl-	132	728	0.0	16041-23-9	replib
96	65.018	1	1-Phenyl-hexa-1,2-diene	96	766	0.0		mainlib
		2	1,2,3,6-Tetrahydrobenzylalcohol	110	753	0.0	1679-51-2	nist_msms
		3	2-Butenoic acid, 2-methoxy-3-methyl-, methyl ester	150	723	0.0	56009-32-6	replib
97	65.108	1	4-Imidazolacetic acid, butyl ester	152	795	0.0	99133-89-8	mainlib
		2	Isoxazole, trimethyl-	136	736	0.0	10557-82-1	mainlib
		3	Bicyclo[4.1.0]heptane, 7-butyl-	245	729	0.0	18645-10-8	mainlib
98	65.208	1	Gln-His-Lys	173	735	0.0		nist_msms
		2	Glu-Val-Lys	179	732	0.0		nist_msms
		3	Glu-Val-Lys	127	717	0.0		nist_msms
99	65.428	1	1,1-Dithiophenyl-2-ethyl-cyclobutane	176	711	0.0	122732-87-0	mainlib
		2	THYMIDINE, 3'-(O-TERT.-BUTYLDIMETHYLSILYL)- 5'-ACETYL-	132	675	0.0		mainlib
		3	Trimethyl[4-(2-methyl-4-oxo-2-pentyl)phenoxy]silane	104	672	0.0		mainlib
100	65.479	1	2,7-Octadiene-1,6-diol, 2,6-dimethyl-, (Z)-	215	813	0.0	103619-06-3	mainlib

Inst() ACQUISITION PARAMETERS

Oven: Initial temp 160°C for 1 min, ramp 3°C/min to 235°C, hold 20 min, ramp 20°C/min to 290°C, hold 20 min, Inj=250°C,
 Volume=0 μ L, Split=5:1, Carrier Gas=He, Solvent Delay=1.10 min, Transfer Temp=230°C, Source Temp=230°C, Scan: 10 to
 400Da, Column 60.0m x 250 μ m

Fuente: Elaboración propia

Continuación figura 35

Library Search Report

File: C:\TURBOMASS\SEMIVOCS.PRO\Data\8901017A\Esencial3.raw
Acquired: 13-Oct-17 11:21:12 AM Printed: 13-Oct-17 12:34 PM
Description: 890.10.17A\Esencial cafe3
GC/MS Method: GC: Aceite esencia uvq.mth MS: Aceite esencial uvq.EXP Page 11 of 11
Sample ID: 890.10.17A\Esencial cafe3 Vial Number: 38

Pk #	RT	Hit	Compound Name	Match	R.Match	Prob.	CAS	Library
2			Bicyclo[4.1.0]heptane, 7-pentyl-	173	807	0.0	41977-45-1	mainlib
3			Cyclohexanol, 4-ethenyl-4-methyl-3-(1-methylethenyl)-, (1 α ,3 α ,4 α)-	168	790	0.0	56298-45-4	mainlib

Inst() ACQUISITION PARAMETERS

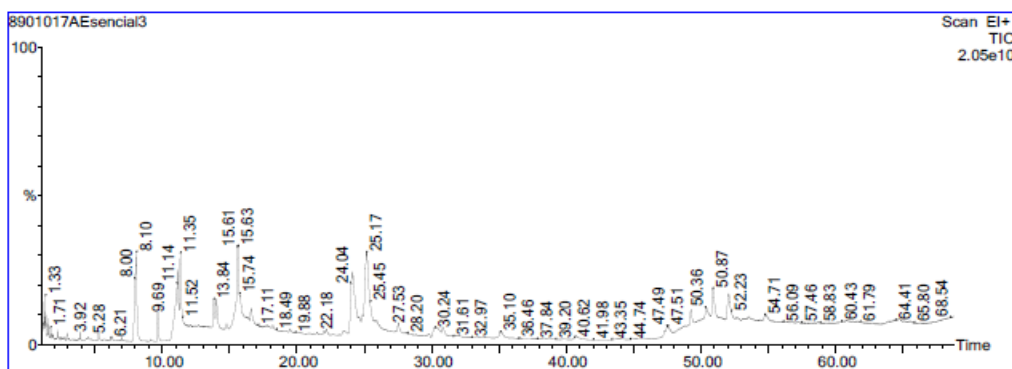
Oven: Initial temp 160°C for 1 min, ramp 3°C/min to 235°C, hold 20 min, ramp 20°C/min to 290°C, hold 20 min, Inj=250°C,
Volume=0 μ L, Split=5:1, Carrier Gas=He, Solvent Delay=1.10 min, Transfer Temp=230°C, Source Temp=230°C, Scan: 10 to
400Da, Column 60.0m x 250 μ m

Fuente: Elaboración propia

Figura 36: Compuestos presentes en el aceite de café con sus respectivas áreas y tiempos de retención. Universidad de San Carlos de Guatemala.

Qualitative Report

File: C:\TURBOMASS\SEMIVOCS.PRO\Data\8901017AEsencial3.raw
 Acquired: 13-Oct-17 11:21:12 AM Printed: 13-Oct-17 12:53 PM
 Description: 890.10.17AEsencial cafe3
 GC/MS Method: GC: Aceite esencia uvj.mth MS: Aceite esencial uvj.EXP Page 1 of 4
 Sample ID: 890.10.17AEsencial cafe3 Vial Number: 38



#	RT	Scan	Height	Area	Area %	Norm %
1	1.118	4	20,313,081,856	101,565,304.0	0.402	4.64
2	1.158	12	1,831,958,400	41,117,536.0	0.163	1.88
3	1.193	19	558,243,200	11,430,487.0	0.045	0.52
4	1.273	35	1,042,185,024	23,583,460.0	0.093	1.08
5	1.328	46	2,547,942,656	66,985,928.0	0.265	3.06
6	1.359	52	1,501,445,504	29,988,540.0	0.119	1.37
7	1.388	58	1,288,785,408	25,107,196.0	0.099	1.15
8	1.419	64	607,323,904	13,913,032.0	0.055	0.64
9	1.529	86	1,233,750,016	40,035,008.0	0.158	1.83
10	1.709	122	705,665,408	22,612,326.0	0.089	1.03
11	1.834	147	676,042,368	29,243,672.0	0.116	1.34
12	1.929	166	346,000,864	13,605,392.0	0.054	0.62
13	2.254	231	644,516,288	34,067,888.0	0.135	1.58
14	2.554	291	210,515,360	10,169,498.0	0.040	0.46
15	2.769	334	220,759,104	13,501,964.0	0.053	0.62
16	2.934	367	526,482,560	20,183,244.0	0.080	0.92
17	3.054	391	168,213,184	8,793,812.0	0.035	0.40
18	3.839	548	181,176,800	10,752,146.0	0.043	0.49
19	3.924	565	615,179,648	34,454,592.0	0.136	1.58
20	4.385	657	124,748,408	17,828,560.0	0.070	0.82

Inst() ACQUISITION PARAMETERS

Oven: Initial temp 160°C for 1 min, ramp 3°C/min to 235°C, hold 20 min, ramp 20°C/min to 290°C, hold 20 min, Inj=250°C, Volume=0 µL, Split=5:1, Carrier Gas=He, Solvent Delay=1.10 min, Transfer Temp=230°C, Source Temp=230°C, Scan: 10 to 400Da, Column 60.0m x 250µm

Fuente: Elaboración propia

Continuación figura 36

Qualitative Report

File: C:\TURBOMASS\SEMIVOCS.PRO\Data\8901017AEsencial3.raw
 Acquired: 13-Oct-17 11:21:12 AM Printed: 13-Oct-17 12:53 PM
 Description: 890.10.17AEsencial cafe3
 GC/MS Method: GC: Aceite esencia uvq.mth MS: Aceite esencial uvq.EXP Page 2 of 4
 Sample ID: 890.10.17AEsencial cafe3 Vial Number: 38

#	RT	Scan	Height	Area	Area %	Norm %
21	4.505	681	272,282,304	36,807,756.0	0.146	1.68
22	4.740	728	128,828,840	10,828,985.0	0.043	0.50
23	5.280	836	490,751,168	45,627,752.0	0.180	2.09
24	5.735	927	112,716,184	10,919,920.0	0.043	0.50
25	6.220	1024	210,345,520	14,533,957.0	0.057	0.66
26	6.335	1047	99,522,016	9,950,483.0	0.039	0.45
27	7.021	1184	266,567,280	16,524,183.0	0.065	0.76
28	8.101	1400	6,150,756,352	1,191,555,968.0	4.711	54.48
29	9.132	1606	162,195,312	22,331,938.0	0.088	1.02
30	9.687	1717	2,010,413,824	197,121,328.0	0.779	9.01
31	11.212	2022	4,269,568,000	958,251,200.0	3.788	43.82
32	11.362	2052	5,384,299,008	835,100,032.0	3.301	38.18
33	11.813	2142	271,033,920	23,936,776.0	0.095	1.09
34	11.928	2165	204,779,968	10,684,494.0	0.042	0.49
35	12.113	2202	194,860,912	21,866,378.0	0.086	1.00
36	12.693	2318	174,523,488	29,857,510.0	0.118	1.37
37	13.838	2547	1,963,994,752	242,746,464.0	0.960	11.10
38	14.043	2588	2,049,901,824	302,775,328.0	1.197	13.84
39	14.789	2737	381,877,440	44,408,284.0	0.176	2.03
40	16.629	2905	5,722,832,384	2,187,002,368.0	8.646	100.00
41	16.599	3099	1,530,317,824	551,465,216.0	2.180	25.22
42	17.790	3337	491,520,320	134,133,488.0	0.530	6.13
43	17.915	3362	389,590,592	92,474,480.0	0.366	4.23
44	18.210	3421	458,877,824	114,972,512.0	0.455	5.26
45	19.200	3619	114,838,840	18,571,420.0	0.073	0.85
46	19.496	3678	302,534,880	42,062,948.0	0.166	1.92
47	21.496	4078	159,457,552	18,585,048.0	0.073	0.85
48	22.027	4184	270,011,392	30,735,488.0	0.122	1.41
49	22.197	4218	410,279,200	59,746,072.0	0.236	2.73
50	23.452	4469	274,898,720	69,232,016.0	0.274	3.17
51	24.122	4603	3,983,110,144	1,363,110,272.0	5.389	62.33
52	24.578	4694	539,198,928	69,352,648.0	0.274	3.17
53	24.878	4754	535,661,152	40,240,680.0	0.159	1.84
54	25.193	4817	4,986,066,432	1,788,602,624.0	7.071	81.78
55	25.783	4935	430,467,360	35,604,856.0	0.141	1.63

Inst() ACQUISITION PARAMETERS

Oven: Initial temp 160°C for 1 min, ramp 3°C/min to 235°C, hold 20 min, ramp 20°C/min to 290°C, hold 20 min, Inj=250°C,
 Volume=0 µL, Split=5:1, Carrier Gas=He, Solvent Delay=1.10 min, Transfer Temp=230°C, Source Temp=230°C, Scan: 10 to
 400Da, Column 60.0m x 250µm

Fuente: Elaboración propia

Continuación figura 36

Qualitative Report

File: C:\TURBOMASS\SEMIVOCS.PRO\Data\8901017AEsencial3.raw
 Acquired: 13-Oct-17 11:21:12 AM Printed: 13-Oct-17 12:53 PM
 Description: 890.10.17AEsencial cafe3
 GC/MS Method: GC: Aceite esencia uvq.mth MS: Aceite esencial uvq.EXP Page 3 of 4
 Sample ID: 890.10.17AEsencial cafe3 Vial Number: 38

#	RT	Scan	Height	Area	Area %	Norm %
56	25.883	4955	451,816,896	111,080,256.0	0.439	5.08
57	27.534	5285	703,182,080	121,930,312.0	0.482	5.58
58	28.119	5402	107,975,904	12,947,847.0	0.051	0.59
59	29.555	5689	110,929,544	12,732,310.0	0.050	0.58
60	29.825	5743	233,628,272	50,131,684.0	0.198	2.29
61	30.330	5844	737,278,208	377,165,440.0	1.491	17.25
62	30.840	5946	740,112,960	213,368,720.0	0.844	9.76
63	31.415	6061	129,790,296	24,873,576.0	0.098	1.14
64	32.040	6188	180,995,424	77,138,048.0	0.305	3.53
65	35.157	6809	489,552,768	162,509,840.0	0.642	7.43
66	40.739	7925	263,644,976	88,078,024.0	0.348	4.03
67	41.044	7988	102,420,432	14,938,152.0	0.059	0.68
68	47.076	9192	105,270,712	9,470,820.0	0.037	0.43
69	47.547	9286	886,459,712	397,979,712.0	1.573	18.20
70	49.232	9623	1,894,052,608	1,238,089,472.0	4.887	56.52
71	50.398	9856	1,960,094,864	1,528,434,560.0	6.034	69.80
72	50.873	9951	3,199,846,656	1,683,383,808.0	6.655	76.97
73	52.028	10182	2,785,683,456	1,189,678,208.0	4.703	54.40
74	52.659	10308	1,171,111,808	441,956,040.0	1.747	20.21
75	53.514	10479	1,138,680,960	1,453,764,736.0	5.747	66.47
76	54.769	10730	1,204,864,128	1,657,705,728.0	6.553	75.80
77	57.145	11205	540,049,536	511,584,768.0	2.022	23.39
78	58.711	11518	442,608,288	498,700,288.0	1.971	22.80
79	59.548	11685	359,601,024	102,189,800.0	0.404	4.67
80	60.427	11861	389,907,520	234,443,616.0	0.927	10.72
81	60.762	11928	433,649,984	304,496,384.0	1.204	13.92
82	61.552	12088	349,204,704	114,161,768.0	0.451	5.22
83	61.847	12145	242,661,744	19,417,112.0	0.077	0.89
84	61.932	12162	244,562,272	26,347,492.0	0.104	1.20
85	62.082	12192	213,426,832	21,411,062.0	0.085	0.98
86	62.187	12213	192,162,432	9,136,910.0	0.036	0.42
87	62.282	12232	175,424,240	23,444,984.0	0.093	1.07
88	62.397	12255	167,875,680	11,969,382.0	0.047	0.55
89	62.627	12301	106,254,128	9,616,460.0	0.038	0.44
90	63.898	12555	208,500,976	41,112,048.0	0.163	1.88

Inst() ACQUISITION PARAMETERS

Oven: Initial temp 160°C for 1 min, ramp 3°C/min to 235°C, hold 20 min, ramp 20°C/min to 290°C, hold 20 min, Inj=250°C,
 Volume=0 µL, Split=5:1, Carrier Gas=He, Solvent Delay=1.10 min, Transfer Temp=230°C, Source Temp=230°C, Scan: 10 to
 400Da, Column 60.0m x 250µm

Fuente: Elaboración propia

Continuación figura 36

Qualitative Report

File: C:\TURBOMASS\SEMIVOCS.PRO\Data\8901017AEsencial3.raw
 Acquired: 13-Oct-17 11:21:12 AM Printed: 13-Oct-17 12:53 PM
 Description: 890.10.17AEsencial cafe3
 GC/MS Method: GC: Aceite esencia uvg.mth MS: Aceite esencial uvg.EXP Page 4 of 4
 Sample ID: 890.10.17AEsencial cafe3 Vial Number: 38

#	RT	Scan	Height	Area	Area %	Norm %
91	63.983	12572	209,289,040	9,407,472.0	0.037	0.43
92	64.213	12618	245,543,040	33,303,614.0	0.132	1.52
93	64.333	12642	262,551,472	30,396,594.0	0.120	1.39
94	64.408	12657	270,990,368	15,480,102.0	0.061	0.71
95	64.648	12705	360,668,864	153,124,912.0	0.605	7.00
96	65.018	12779	212,513,504	10,050,037.0	0.040	0.46
97	65.108	12797	224,815,888	13,324,418.0	0.053	0.61
98	65.208	12817	177,991,200	11,222,412.0	0.044	0.51
99	65.428	12861	188,378,800	13,885,556.0	0.055	0.63
100	65.479	12871	208,234,592	31,490,768.0	0.124	1.44

Inst() ACQUISITION PARAMETERS

Oven: Initial temp 160°C for 1 min, ramp 3°C/min to 235°C, hold 20 min, ramp 20°C/min to 290°C, hold 20 min, Inj=250°C,
 Volume=0 µL, Split=5:1, Carrier Gas=He, Solvent Delay=1.10 min, Transfer Temp=230°C, Source Temp=230°C, Scan: 10 to
 400Da, Column 60.0m x 250µm

Fuente: Elaboración propia

XII. GLOSARIO

Café espreso: café que se obtiene al pasar agua hirviendo a presión por el grano molido en un tiempo entre 20 a 28 s.

Poso de café: café residual resultante de la fabricación de la bebida del café con agua o vapor también llamado shinga de café.

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

Aceite vegetal: aceites que se obtienen de semillas o frutos los contiene una mezcla de 95% de triglicéridos y 5% de ácidos grasos libres.

Ácidos grasos: son ácidos carboxílicos los cuales se encuentran presentes en las grasas, raramente libres, y casi siempre esterificando al glicerol y a otros alcoholes. Son generalmente de cadena lineal y tienen un número par de átomos de carbono

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

Biocombustibles: son combustibles de origen obtenidos de forma renovable a partir de restos orgánicos como el azúcar, trigo, maíz o semillas oleaginosas. Todos ellos reducen el volumen total de CO₂ que se emite en la atmósfera.

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

Transesterificación: reacción en la cual un triglicérido reacciona con un alcohol en presencia de un catalizador ya sea ácido o básico para formar biodiésel y glicerina. Es recomendable emplear un exceso de alcohol para favorecer el equilibrio hacia la formación de biodiésel

Número ácido: medida en base al Número de Acidez total, se define como los miligramos de hidróxido de potasio necesarios para neutralizar la acidez de un gramo de aceite, si este valor excede de 0.5 mg KOH/g aceite se considera con alta acidez.

Triglicéridos: son tri-ésteres formados por la reacción de ácidos grasos sobre las tres funciones como alcohol del glicerol

Alcohol: compuesto de carbono, hidrógeno y oxígeno que deriva de los hidrocarburos y lleva en su molécula uno o varios hidroxilos (OH)

Extracción Soxhlet: extracción sólido-líquido la cual se basa en el contacto de un líquido (solvente) con un sólido para extraer un compuesto de interés. Se utiliza un equipo Soxhlet y cartuchos Soxhlet.

Saponificación: reacción química entre un lípido saponificable, ácido graso y un alcalí.

Destilación: separación de una mezcla líquida que contiene dos compuestos con distintos puntos de ebullición.

Porcentaje v/v: medida de la concentración del volumen del soluto por cada 100 unidades del volumen de la solución.

Porcentaje m/m: medida de la concentración de la masa del soluto por cada 100 unidades de masa de la solución.