



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA AGROPECUARIA DE MANABÍ
MANUEL FÉLIX LÓPEZ**

DIRECCIÓN DE CARRERA: MEDIO AMBIENTE

**INFORME DE TRABAJO DE TITULACIÓN
PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO
EN MEDIO AMBIENTE**

**MODALIDAD:
PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

TEMA:

**INFLUENCIA DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS
DE ACEITES RESIDUALES DE RESTAURANTES EN LA
CALIDAD DE BIODIESEL**

AUTORES:

**JUAN ANDRÉS ÁLAVA ALCHUNDIA
ANAHÍ MADELAINE DÍAZ GARCÍA**

TUTOR:

ING. CARLOS DELGADO VILLAFUERTE, Mg. C.A.

CALCETA, NOVIEMBRE 2018

DERECHOS DE AUTORÍA

Juan Andrés Álava Alchundia y Anahí Madelaine Díaz García, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional, y que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedemos los derechos de propiedad intelectual a la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí - Manuel Félix López, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual y su reglamento.

Juan Andrés Álava Alchundia

Anahí Madelaine Díaz García

CERTIFICACIÓN DE TUTOR

ING. CARLOS DELGADO VILLAFUERTE, Mg.C.A. certifica haber tutelado el trabajo de titulación **INFLUENCIA DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DE ACEITES RESIDUALES DE RESTAURANTES EN LA CALIDAD DE BIODIESEL**, que ha sido desarrollada por Juan Andrés Álava Alchundía y Anahí Madelaine Díaz García, previa la obtención del título de Ingeniero en Medio Ambiente, de acuerdo al **REGLAMENTO PARA LA ELABORACIÓN DE TRABAJO DE TITULACIÓN DE TERCER NIVEL** de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.

Ing. Carlos Delgado Villafuerte, Mg.C.A.

APROBACIÓN DE TRIBUNAL

Los suscritos integrantes del tribunal correspondiente, declaran que han **APROBADO** el trabajo de titulación **INFLUENCIA DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DE ACEITES RESIDUALES DE RESTAURANTES EN LA CALIDAD DE BIODIESEL**, que ha sido propuesta, desarrollada y sustentada por Juan Andrés Álava Alchundia y Anahí Madelaine Díaz García, previa la obtención del título de Ingeniero en Medio Ambiente, de acuerdo al **REGLAMENTO PARA LA ELABORACIÓN DE TRABAJO DE TITULACIÓN DE TERCER NIVEL** de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.

Ing. Jonathan Chicaiza Intriago, M.Sc.
MIEMBRO

Ing. Verónica Vera Villamil, M.Sc.
MIEMBRO

Blga. María Pincay Cantos, M.Sc.
PRESIDENTE

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a nuestros padres y familiares por su apoyo incondicional y emocional, fue el motor que nos impulsó a seguir adelante, y que por su ejemplo nos motivó a dar todo nuestro esfuerzo en cada momento de nuestra carrera.

A la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, por darnos la oportunidad de una educación superior, permitiéndonos forjar nuestros conocimientos profesionales día a día con esfuerzo y dedicación, por enseñarnos a ser personas con gran calidad humana, humildad y profesionalismo.

A nuestro tutor el Ing. Carlos Delgado Villafuerte, por el apoyo brindado y consejos para el desarrollo de nuestro trabajo de titulación.

A los miembros del tribunal, Ing. Jonathan Chicaiza, Blga. María Fernanda Pincay y Ing. Verónica Vera Villamil, ya que sin su aprobación y guía esta investigación nada de esto sería posible.

A cada persona que participo directa e indirectamente en el desarrollo del proyecto, a los propietarios de los restaurantes por permitirnos su tiempo y su colaboración factor importante para permitirnos el desarrollo del proyecto

DEDICATORIA

A mis padres Lcda. Maritza Alchundia, Mg. y Lcdo. Marcos Álava por ser las personas que ha acompañado durante todo el trayecto de mi vida estudiantil, creer en mí y por haberme forjado como la persona que soy en la actualidad, el cual este es un logro más de ustedes.

A mis hermanos Marcos Álava, Andrea Álava y mi Sobrina Kaori Álava ya que son personas muy importantes en mi vida y las aprecio mucho.

A mi compañera Anahí Díaz por haberme brindado su compañía, conocimientos compartidos en el transcurso de la carrera y por ofrecerme su cariño y comprensión llenando mi vida de experiencias inolvidables.

A abuela Gladis Garcés y a mi familia en general que de una u otra manera me ofrecieron su apoyo, ya sea motivacional o económicamente.

Juan Andrés Álava Alchundia.

DEDICATORIA

A mis padres Lcda. Marlene García y Lcdo. Oscar Díaz por ser las personas que me han acompañado durante todo el trayecto de mi vida estudiantil, aconsejándome y mostrándome su apoyo ante cualquier circunstancia, por haberme forjado como la persona, por compartir los triunfos y en los momentos difíciles que han enseñado a valorarlo cada día más.

A mis hermanos Lcda. Mónica López, Lcdo. Jonathan Díaz y Arq. Gregorio Díaz por apoyarme, brindarme sus consejos y conocimientos en el transcurso de mi vida. A mis sobrinos Emily, Valentina, Lourdes, Sebastián, Omar y Santiago, cuñado y cuñadas porque los aprecio mucho y son importantes en mi vida.

A mi compañero Juan Andrés Álava por haberse convertido en una persona especial e importante, por motivarme a ser mejor y apoyarnos en el transcurso de la carrera compartiéndonos conocimientos y experiencias.

A mi familia en general que de una u otra manera me apoyaron, ya sea motivacional o económicamente.

Anahí Madelaine Díaz García.

CONTENIDO

DERECHOS DE AUTORÍA	ii
CERTIFICACIÓN DE TUTOR	iii
APROBACIÓN DE TRIBUNAL.....	iv
AGRADECIMIENTO.....	v
DEDICATORIA.....	vi
DEDICATORIA.....	vii
CONTENIDO DE CUADROS, FIGURAS Y GRÁFICOS	x
RESUMEN	xi
ABSTRACT	xii
CAPÍTULO I. ANTECEDENTES	1
1.1. Planteamiento y formulación del problema	1
1.2. Justificación.....	2
1.3. Objetivos	4
1.3.1. Objetivo general.....	4
1.3.2. Objetivos específicos.....	4
1.4. Idea a defender	4
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	5
2.1. Aceites.	5
2.2. Aceites residuales.	5
2.2.1. Propiedades de aceites usados.....	6
2.2.2. Reacciones químicas que se producen en los aceites.	6
2.2.3. Cambios físicos aceites.	8
2.3. Pretratamiento del aceite.	9
2.4. Porcentajes de absorción de aceite.	9
2.5. Biodiesel.....	10
2.6. Obtención del biodiesel	11
2.7. Transesterificación	12
2.7.1. Catalizadores de la transesterificación de aceites vegetales.....	13
2.7.2. Temperaturas óptimas en transesterificación.	13
2.8. Norma NTE INEN 2482:09 biodiesel. Requisitos	14
2.9. Análisis de costo unitario.....	15
CAPÍTULO III. DESARROLLO METODOLÓGICO	16
3.1 Ubicación	16
3.2 Duración.....	16

3.3	Métodos y técnicas.....	16
3.1.1.	Métodos.....	16
3.1.2.	Técnicas	17
3.4.	Variables en estudio.....	17
3.4.1.	Variable independiente	17
3.4.2.	Variable dependiente.....	17
3.5.	Procedimientos	18
3.5.1	Fase 1. Caracterizar los aceites residuales de los restaurantes de portoviejo.	18
3.5.2	Fase 2. Determinar la calidad del biodiesel.	20
3.5.2.	Fase 3. Análisis de costo para la producción de biodiesel a partir de los aceites residuales de los restaurantes de portoviejo.....	23
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....		25
4.1.	Caracterizar los aceites residuales de los restaurantes de portoviejo. 25	
4.1.1.	Recopilar información en el GAD Municipal	25
4.4.2	Estimar la producción de aceites residuales de los restaurantes de Portoviejo.....	25
4.4.3	Recolectar y preparar el aceite residual.	36
4.4.4	Análisis fisicoquímicos del aceite recolectado y preparado.	37
4.2.	Determinar la calidad del biodiesel.	41
4.2.1.	Producción del biodiesel por medio del Reactor Batch.....	41
4.2.2.	Evaluar la calidad del biodiesel obtenido.....	43
4.3.	ANÁLISIS DE COSTO PARA LA PRODUCCIÓN DE BODIESEL A PARTIR DE LOS ACEITES RESIDUALES DE LOS RESTAURANTES DE PORTOVIEJO.....	45
4.3.1.	Análisis de costo.....	45
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		49
5.1.	Conclusiones.....	49
5.2.	Recomendaciones.....	50
BIBLIOGRAFÍA		51
ANEXOS		56

CONTENIDO DE CUADROS, FIGURAS Y GRÁFICOS

CUADROS

2.1. Ácidos grasos importantes presentes en grasas y aceites (Lawson, 1994).	5
2.2. Requisitos de biodiesel (INEN, 2009).....	14
3.1. Parámetros de análisis de aceites residuales	20
3.2. Parámetros de análisis de aceites residuales	22
4.1. Porcentajes de absorción de acuerdo al tipo de fritura.	35
4.2. Estimación de generación de aceites residuales.....	35
4.3. Resultados de los análisis fisicoquímicos del aceite residual, comparados con la norma NTE INEN 1640:12. Aceite comestible de palma africana - oleína. Requisitos.....	41
4.4. Resultado de los análisis de Biodiesel.	43
4.5. Análisis de costo por galón de biodiesel	47
4.6. Detalle de los costos indirectos de la producción de biodiesel.....	47

FIGURAS

2.1. Reacciones responsables de los cambios en la calidad del aceite de fritura	8
2.2. Reacción de transesterificación.....	11
2.3. Etapas de la reacción de transesterificación de aceite vegetal con metanol para producir ésteres metílicos de ácidos grasos y glicerina.	12
3.1. Ubicación del trabajo de investigación	16
4.1. Esquema del proceso del filtro de arena y zeolita	36

GRÁFICOS

4.1. Tipos de Aceites usados en los restaurantes.	27
4.2. Cantidad de aceite según su tipo.	27
4.3. Tiempo de uso de los aceites.....	28
4.4. Mezclas entre aceites usados y nuevos.....	29
4.5. Tipos de frituras que realizan en los restaurantes.....	30
4.6. Reutilización de aceite en los restaurantes.	30
4.7. Número de veces que se reutiliza el aceite.....	32
4.8. Política de desecho del aceite residual.	33
4.9. Trampa de grasas.	33
4.10. Disposición final del aceite residual.....	34
4.11. Sistema de Recogida de aceites residuales.....	35
4.12 Comparación por precio de galón por países.....	48

RESUMEN

En este estudio se evaluó la influencia de las características físico-químicas de aceites residuales de restaurantes de la ciudad de Portoviejo en la calidad del biodiesel. Previamente para caracterizar los aceites residuales se encuestó 57 restaurantes derivados del tamaño muestral, zonificados en el casco urbano. Obteniendo el aceite de palma como mayor recurso utilizado para la cocción de alimentos, estimando una generación de aceite residual de 656 l/semana aproximadamente. Se recolectó una muestra de aceite residual por restaurante para obtener una muestra compuesta a la cual se realizó un pretratamiento con un medio filtrante a base de zeolita y arena, lo que permitió reducir las impurezas del aceite. Los análisis físico-químicos determinaron que el aceite residual, posee un 0,42% de acidez, un índice de saponificación de 168 mg/g, índice de peróxido 0,48 mEqO₂/kg, punto de fusión 25°C, y humedad 0,17%. Para determinar la calidad del biodiesel se utilizó la norma NTE INEN 2482:09 obteniendo como resultado: contenido de azufre 0,03 Mg/kg, corrosión lámina cobre 1B, número de acidez 0,296 Mg KOH/g, encontrándose dentro de los rangos de la norma, por el contrario, agua y sedimento 0,30%, viscosidad cinemática 17,23 mm²/s, densidad 911,4Kg/m³, cenizas 0,57% y carbón residual 0,55% sobrepasan los rangos; otorgándole una calidad regular, determinando que los valores de acidez y humedad del aceite residual influyeron en la calidad del biodiesel. Se aplicó un análisis de precios unitarios para estimar el costo de producción de biodiesel a partir de los aceites residuales resultando en \$5,51 por galón.

Palabras clave: características físico-químicas, aceite residual, calidad, biodiesel.

ABSTRACT

In this study, the influence of the physical-chemical characteristics of waste oils from restaurants in Portoviejo city on the quality of biodiesel was evaluated. Previously, to characterize the residual oils, 57 restaurants derived from the sample size, zoned in the urban area, were surveyed. Obtaining palm oil as the main resource used for cooking food, estimating a residual oil generation of approximately 656l / week. A sample of residual oil was collected per restaurant to obtain a composite sample to which a pretreatment was carried out with a medium zeolite and sand filter, which allowed to reduce impurities in the oil. Physico-chemical analyzes determined that the residual oil possesses 0.42% acidity, a saponification index of 168mg / g, peroxide value 0.48mEqO₂ / kg, melting point 25°C, and humidity 0.17 %. To determine the quality of biodiesel, the NTE INEN 2482: 09 standard was used, obtaining as a result: sulfur content 0.03 Mg / kg, corrosion copper foil 1B, acid number 0.296 Mg KOH / g, being within the ranges of the norm, on the contrary, water and sediment 0.30%, kinematic viscosity 17.23 mm² / s, density 911.4 Kg / m³, ash 0.57% and residual coal 0.55% surpass the ranges; giving it a regular quality, determining that the values of acidity and humidity of the residual oil influenced the quality of the biodiesel. A unit price analysis was applied to estimate the production cost of biodiesel from waste oils resulting in \$ 5.51 per gallon.

Key words: physical-chemical characteristics, residual oil, quality, biodiesel.

CAPÍTULO I. ANTECEDENTES

1.1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

El aceite vegetal es uno de los principales componentes usados en la industria restaurantera, estos durante su utilización sufren cambios y alteraciones, por lo que deben ser desechados, siendo vertidos por el fregadero, inodoro u otros elementos de la red de saneamiento representa una fuente de contaminación del agua (González y González, 2015). Generalmente los aceites residuales no son tratados ni reutilizados lo que causa afectaciones en el tratamiento de residuos sólidos. En muchos países se ha prohibido su disposición en vertederos a cielo abierto debido a que su proceso de degradación es lento y al ser mezclados con los lixiviados se hace difícil su eliminación (Pineda y Guerro, 2011).

La generación de aceites residuales es un problema creciente en todo el mundo, con base a estimaciones reportadas en la Unión Europea se producen alrededor de 0.4 Megatoneladas (Mt) de aceites residuales, provenientes de la industria restaurantera, mientras que, en Irlanda la cantidad de aceite de cocina residual reciclado fue de 9381 t en el año 2006 (Tacias, Quintero, y Terrestiana, 2016). En el Ecuador, el aceite de fritura usado es manejado de forma indebida y desechado en lugares inapropiados representando un atentado contra la salud humana y contra el medio ambiente principalmente debido a su poca biodegradabilidad (Luzuriaga, 2010).

En la ciudad de Portoviejo, se encuentran patentados 141 establecimientos de comida, de los que no existe información de la cantidad de aceites residuales producidos. Villegas (2014), menciona que es importante poseer datos respecto a las características físico-químicas de los aceites residuales, ya que al no existir estos datos dificulta obtener información de la calidad de aceites residuales para su posterior reutilización como materia prima, principalmente en la calidad del biodiesel.

Por ello se han ampliado nuevas técnicas para reutilizar estos desechos, siendo los biocombustibles una alternativa eficaz para tratar estos residuos, y de esta manera disminuir el consumo de carburantes fósiles, debido a su bajo impacto ambiental. Uno de los resultados de estos tratamientos es el biodiesel siendo utilizado como aditivo en motores de combustión interna o implementándolo en forma de mezcla que contenga el 20% y el 50% de biodiesel directo o el 100% de biodiesel, presentando características óptimas (García, Gandón, y Maqueira, 2013).

La utilización de aceites residuales en la producción de biodiesel, se describe químicamente como una mezcla de ésteres de alquilo (metilo y etilo) con cadenas largas de ácidos grasos, estas cadenas al estar oxigenadas, le otorgan al motor una combustión mucho más limpia (Medina, Chávez, y Járegui, 2012).

Debido a la posibilidad de obtener biodiesel a partir de aceites usados se plantea la siguiente interrogante: ¿Cómo influyen las características físico-químicas de los aceites residuales de los restaurantes de Portoviejo en la calidad de biodiesel?

1.2. JUSTIFICACIÓN

De acuerdo al Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA, 2010), el biodiesel corresponde a un combustible renovable, derivado de lípidos naturales, obtenido a través de un proceso industrial. Una de las materias primas para la producción de biodiesel son los aceites una vez cumplida su vida útil (Benjumea, Agudelo, y Ríos, 2009). Que al aplicarse como materia prima representa un buen manejo de los aceites residuales, presentando una serie de ventajas económicas, ya que reduce el costo de las materias primas en gran medida y se disminuye la problemática alimenticia que existe debido a los aceites vegetales residuales (Medina y Ospino, 2011).

Tacias *et al.*, (2016), expresan que es de gran importancia aplicar métodos para conocer las propiedades de los aceites residuales ya que dependen del tipo de tratamiento al que son sometidos como: el tipo de aceite, duración de la

cocción, temperatura del aceite, exposición al aire, periodo de almacenamiento y el tipo de alimento cocinado que determinarán la presencia de contaminantes primarios y secundarios aportándole al aceite residual sus características finales.

Al conocer todas estas variables permiten que se realice con éxito los procesos de conversión de aceites residuales en biodiesel siendo este una fuente de sostenibilidad, ya que es renovable y causa un menor impacto ambiental (Castro, Beltrán, y Ortiz, 2012), emitiendo un menor nivel de emisión de gases nocivos, en particular el dióxido de carbono (García *et al.*, 2013).

Al realizar esta investigación, se busca cumplir lo establecido en la Constitución de la República del Ecuador (2008) en su Art. 14, el cual menciona que “Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, *sumak kawsay*”. De esta manera se minimiza la contaminación ambiental, al tratar estos residuos, incorporándolos en una producción limpia, tal como se menciona en el Art. 413.- “El Estado promoverá la eficiencia energética, el desarrollo y uso de prácticas y tecnologías ambientalmente limpias y sanas, así como de energías renovables, diversificadas, de bajo impacto y que no pongan en riesgo la soberanía alimentaria, el equilibrio ecológico de los ecosistemas ni el derecho al agua”.

La alternativa de identificar las características físico-químicas de los aceites residuales de la industria restaurantera ayuda a determinar la calidad de biodiesel a obtener. Es por esto que surge la necesidad de conocer la gestión, características y volumen de aceites residuales generados en los restaurantes de la ciudad Portoviejo, para identificar su estado como materia prima, siendo un requisito que permite establecer las condiciones óptimas para la producción de biodiesel, dependiendo de estas condiciones la calidad final del mismo, y así seguir incentivando el aprovechamiento de estos residuos contaminantes aplicando tecnologías limpias como el biodiesel, proporcionando beneficios al ambiente y al desarrollo socioeconómico local.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar la influencia de las características físico-químicas de aceites residuales de restaurantes de Portoviejo en la calidad de biodiesel.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar los aceites residuales de los restaurantes de Portoviejo.
- Determinar la calidad del biodiesel.
- Análisis de costo para la producción de biodiesel a partir de los aceites residuales de los restaurantes de Portoviejo.

1.4. IDEA A DEFENDER

Los aceites residuales generados en los restaurantes de la ciudad de Portoviejo poseen las características físico-químicas adecuadas para obtener un biodiesel de buena calidad según la norma NTE INEN 2482:09.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. ACEITES.

Los aceites químicamente son lípidos simples formados por glicéridos: esterres glicéricos de los ácidos grasos. El aceite se refiere a los lípidos de origen vegetal, independientemente del estado líquido o sólidos que adquieran según la temperatura ambiental o su punto de fusión (González y González, 2015). Según Yagüe (2003) los lípidos de los alimentos, salvo muy raras excepciones, contienen ácidos grasos de cadena lineal saturados o insaturados. Algunos ácidos grasos están presentes en todas las grasas, aceites, lípidos. En función de los ácidos grasos podrían establecerse varios subgrupos:

Aceites vegetales:

- Aceites procedentes de semillas: algodón, sésamo girasol, maíz, cacahuates y cártamo o de tegumento o pulpa de frutos: Oliva y palma (ácidos oleico y linoleico).
- Aceites de coco, palma (ácidos grasos de cadena media o corta).
- Aceites de soja, germen de trigo, cáñamo (ácido linoleico).

Cuadro 2.1. Ácidos grasos importantes presentes en grasas y aceites (Lawson, 1994).

Ácido graso	Átomos de carbono	Dobles enlaces	Punto de fusión °C	Aceites y grasas naturales en los que están mayormente presentes
Butírico	4	0	-8	Mantequilla
Laúrico	12	0	44	Aceite de coco
Mirístico	14	0	54	Mantequilla, aceite de coco, aceite de palma.
Palmítico	16	0	63	Aceite de palma, mantequilla y grasas animales como la grasa de pollo, manteca de cerdo y sebo
Esteárico	18	0	69	Sebo, manteca de cacao, manteca de cerdo y mantequilla
Oleico	18	1	14	Aceite de Oliva, cacahuate, manteca de cerdo, Aceite de palma, maíz, semilla de colza y canola
Linoleico	18	2	-5	Soja, cártamo, girasol, maíz y semilla de algodón
Linolénico	18	3	-11	Soja y canola

2.2. ACEITES RESIDUALES.

El Aceite de Cocina Usado (ACU) también conocido como Aceite Vegetal Usado (AVU), o Aceite Residual (AR) es todo aquel aceite proveniente, en forma continua o discontinua, de establecimientos de todo tipo que generan o elaboran productos comestibles y que, en su utilización, han sufrido un proceso

térmico que ha cambiado las características propias del producto original (González y González, 2015)

Los aceites utilizados son el resultado del proceso de frituras, el cual consiste en introducir un alimento en un baño de aceite caliente a temperaturas elevadas (150°C –200°C), transmitiendo el calor produciendo un calentamiento rápido y uniforme del producto final. Durante este proceso, los aceites sufren cambios y alteraciones químicas, derivados del aumento de la temperatura, hasta que estos ya no puedan ser utilizados y se tiende a su reemplazo, siendo estos transformados en residuo (Yagüe, 2003).

2.2.1. PROPIEDADES DE ACEITES USADOS.

Las propiedades de los aceites vegetales residuales dependen del tipo de tratamiento al que son sometidos. El tipo de aceite, duración de la cocción, temperatura del aceite, exposición al aire, periodo de almacenamiento y el tipo de alimento cocinado, determinan la presencia de contaminantes primarios y secundarios, que le darán al aceite residual sus características finales. Las altas temperaturas de los procesos típicos de cocción y el agua de los alimentos, aceleran la hidrólisis de los triglicéridos e incrementan el contenido de ácidos grasos libres (AGL), dando al aceite un color más oscuro y un olor desagradable (Tacias *et al.*, 2016).

Cuando aumenta la temperatura se aceleran todos los procesos químicos y enzimáticos. Por lo tanto, los aceites calentados se degradan con bastante rapidez, sobre todo si hay residuos que potencian las reacciones de alteración actuando como catalizadores (Yagüe, 2003).

2.2.2. REACCIONES QUÍMICAS QUE SE PRODUCEN EN LOS ACEITES.

Los cambios químicos que pueden sufrir los aceites son necesarios para comprender las reacciones químicas que tienen lugar en los puntos de saturación de la cadena de los ácidos grasos y en el punto donde los ácidos grasos están unidos en la molécula de glicerol (Naranjo, 2014). Según Juárez (2007) indica que, durante el proceso de fritura, las materias grasas sufren una

serie compleja de reacciones tales como autoxidación, polimerización térmica, oxidación térmica, isomerización, ciclación e hidrólisis. En la Figura 2.1 se muestra un esquema general de las diferentes reacciones responsables de los cambios en la calidad del aceite de fritura describiéndose a continuación:

a) Oxidación: Se producen fundamentalmente en los ácidos grasos insaturados de los triglicéridos. El oxígeno atmosférico reacciona con el aceite en la superficie de contacto y ataca a los dobles enlaces y como consecuencia se pueden producir olores desagradables en los aceites. Es la única reacción química de deterioro que normalmente se desarrolla durante el período de almacenamiento. A pesar de existir diferencias entre la alteración oxidativa que se produce a baja y a alta temperatura, la principal vía de obtención de compuestos de oxidación incluye la formación de los hidroperóxidos.

b) Polimerización: La formación de polímeros durante la fritura está asociada con el proceso de autooxidación que se produce vía radicales libres. Los hidroperóxidos formados se descomponen rápidamente formando compuestos de bajo peso molecular, favoreciéndose la formación de los compuestos diméricos; a partir de ellos se generan oligómeros de mayor peso molecular. Entre los compuestos que pueden formarse están: triglicéridos cíclicos monoméricos, dímeros y polímeros de triglicéridos. Otros efectos de la polimerización son el espesamiento de los aceites y la formación de un residuo marrón similar a una resina en la superficie de la freidora.

c) Hidrólisis: Cuando se fríe un alimento en aceite caliente, el vapor de agua proveniente de éste reacciona con los triglicéridos produciendo su hidrólisis, liberando ácidos grasos libres, monoglicéridos, diglicéridos y glicerol. Los triglicéridos que poseen ácidos grasos de cadena corta son más sensibles a la hidrólisis que aquellos que tienen cadena larga. Los polímeros formados como resultado de las alteraciones térmicas y oxidativas, producen espuma la cual atrapa a las burbujas de vapor por más tiempo en el aceite y esto también acelera la hidrólisis. Pero el mayor efecto sobre la aceleración de este tipo de reacciones lo ejerce el agua presente en el alimento.

d) Compuestos Polares: Todas las reacciones mencionadas se originan en las cadenas poliinsaturadas de los ácidos grasos unidos al glicerol, por lo tanto, los compuestos finales estables, son glicéridos modificados y no modificados. En este sistema tan complejo, se desarrollan aromas y sabores que pueden comunicar características organolépticas agradables o desagradables al alimento frito. El origen se encuentra tanto en la alteración hidrolítica como en la oxidativa. En esta última, por descomposición de los hidroperóxidos se forman compuestos carbonílicos volátiles que tienen olores y sabores característicos. Poseen una polaridad mayor que los triglicéridos no alterados y constituyen los llamados compuestos polares (CP). Como los triglicéridos se encuentran en una proporción mayor al 95% en la mayoría de los aceites, el contenido de compuestos polares indica el grado de deterioro alcanzado por un aceite durante la fritura.

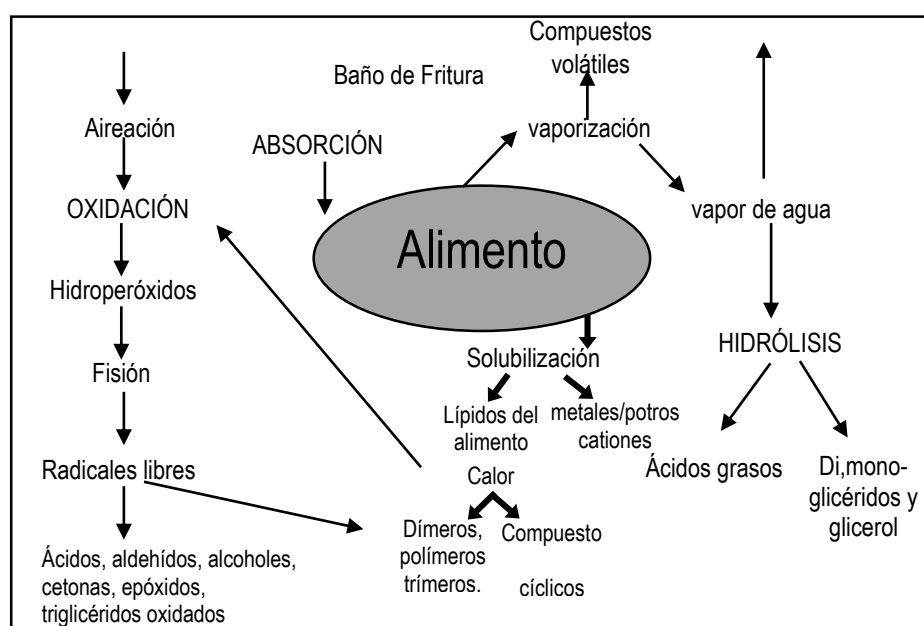


Figura 2.1 Reacciones responsables de los cambios en la calidad del aceite de fritura.

2.2.3. CAMBIOS FÍSICOS ACEITES.

Los cambios físicos que se producen son el desarrollo del olor y sabor. Los cambios que tienen lugar en el aceite durante el calentamiento en la fritura incluyen un modelo complejo de reacciones hidrolíticas, oxidativas y poliméricas. Las propiedades físicas de los aceites son de importancia práctica

en la comprensión de la constitución de estos materiales y en cómo deben ser usados. Los aceites pueden ser caracterizados según sus propiedades físicas (densidad, viscosidad, punto de fusión, índice de refracción) o químicas (índice de acidez, índice de yodo, índice de peróxido, índice de saponificación, índice de éster) (Naranjo, 2014).

- El grado de insaturación puede ser expresado en términos de índice de yodo de la grasa.
- Cuanto mayor sea el índice de yodo, mayor será la insaturación de un aceite en concreto.
- A medida que aumenta el tamaño de la cadena de los ácidos grasos, el punto de fusión también aumenta.

2.3. PRETRATAMIENTO DEL ACEITE.

Previo a la utilización de residuos grasos y/o aceites no convencionales en la producción de biodiesel, es necesario determinar sus propiedades fisicoquímicas (ácidos grasos libres (AGL) y humedad) a fin de evitar la presencia de impurezas que interfieren en la reacción de transesterificación. Por esto, dichas materias primas, dependiendo de sus características, deben ser sometidas a un pretratamiento, para los aceites reciclados, los métodos de pretratamiento más usados son: sedimentación, neutralización, cromatografía en columna (constituida por partes iguales de silicato de magnesio y óxido de aluminio) y evaporación al vacío (Medina, Chávez, y Járegui, 2012).

Zambrano (2013) propone un filtro constituido por capas de zeolita y arena con el fin de obtener un aceite para someterlo al proceso transesterificación, uno de los tratamientos determinados por el autor fue el tratamiento (T3) = 50 gramos de arena + 75 gramos de zeolita el cual cumple con mayor eficiencia, siendo aplicado a escala laboratorio, utilizando una tela de dacron 25x25 cm y se tamiza la arena con un tamiz N°35 para eliminar objetos extraños.

2.4. PORCENTAJES DE ABSORCIÓN DE ACEITE.

La absorción de aceite puede variar desde 6%, en el caso de los frutos secos tostados, hasta 40% aproximadamente en el caso de las papas fritas. Mientras

que los alimentos rebosados en base a harina (pescado o pollo) absorben aproximadamente 15% de aceite de fritura, mientras que el pescado o pollo rebosado en base a pan lo hace en 20%. La cantidad de aceite absorbido por las masas dulces varían entre 15 a 20% de su peso final, sin considerar la manteca o aceite utilizado en la preparación, quedando entonces hasta 30% de contenido de grasa final. Las papas fritas en forma de “bastón” absorben en promedio 10% de su peso total en aceite. Las papas fritas “chips” absorben la mayor cantidad de aceite; variando entre 35 a 40%. Se han introducido al mercado papas fritas bajas en grasa, las que contienen aproximadamente 20% de aceite. Por lo tanto, hay que recordar que el aceite utilizado para freír se convierte en parte de los alimentos que se consumen (Montes *et al.*, 2016).

2.5. BIODIESEL.

Se define como un combustible líquido producido a partir de materias renovables, como aceites vegetales o grasa animal, actualmente usado sustituyendo parcial o totalmente al diésel de petróleo en los motores diésel (Medina *et al.*, 2012). El biodiesel es el resultante de una reacción química correspondiente sea una multiplicidad de estrés ácidos grasos distintos, en proporciones variables, todos ellos denominados biodiesel (Ganduglia *et al.*, 2009).

Herrera y Vélez (2008), lo definen como ésteres monolquílicos de ácidos grasos de cadena larga derivados de lípidos renovables, siendo los esterres más utilizados los de metanol y etanol debido a sus costos bajos y ventajas químicas y físicas. Por otra parte, la norma ASTM Internacional (2009) menciona que el termino biodiesel alude al combustible puro denominado B100, que ha sido designado como combustible alternativo por los departamentos de energía y transporte de los EEUU, pudiendo ser utilizado en estado puro, pero usado con mayor frecuencia como aditivo para el combustible diésel convencional. Además, este combustible emite menos monóxido de carbono, partículas e hidrocarburos no quemados, siendo biodegradable y con un punto alto de inflamación (423k) que hace que sea

menos volátil y más seguro durante su transporte y manipulación (Burbano y Vargas, 2013).

2.6. OBTENCIÓN DEL BIODIESEL

Para la obtención de un verdadero biodiesel el método utilizado es la transesterificación, en la cual existen cuatro formas principales de transformación: el uso directo de aceites y mezcla de la misma con gasóleo mineral, micro-emulsiones, craqueo térmico y transesterificación (Dinis, 2012).

La transesterificación consiste en si en la reacción entre un triglicérido (compuesto por una molécula de glicerol esterificada por tres moléculas de ácidos grasos), contenido en el aceite vegetal o grasa animal y un alcohol ligero (metanol o etanol), produciendo glicerina y esteres derivados de los tres ácidos grasos de partida, es decir, biodiesel (Ganduglia *et al.*, 2009).

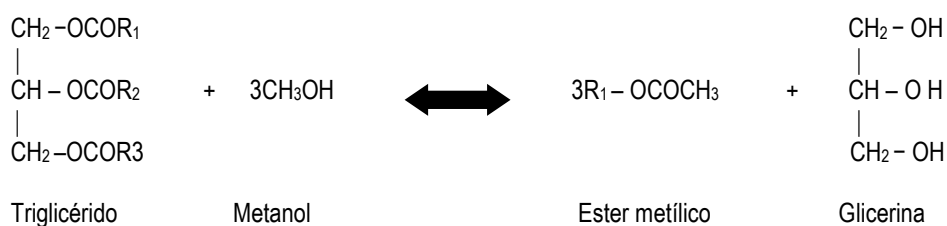


Figura 2.2. Reacción de transesterificación.

Esta reacción química se puede dar por: Catálisis alcalina, catálisis ácida, catálisis de lipasa alcoholes en condiciones supercríticas, utilizándose con mayor frecuencia la catálisis alcalina y la catálisis ácida (Espinoza, 2017). Herrera y Vélez (2008) indican que los alcoholes a emplear deben ser de bajo peso molecular, siendo los más utilizados el metanol debido a su bajo peso molecular, seguido por el etanol; Para que la reacción sea completa es necesaria una temperatura promedio de 60°C - 65°C, un catalizador básico como el hidróxido o un ácido y un tiempo de reacción próximo a las 3 horas.

Así mismo las etapas necesarias para la obtención de biodiesel a partir de aceite refinado previamente (desgomado, filtración, neutralización y secado) son las siguientes: reacción de transesterificación, separación y purificación de los esteres obtenidos (Ganduglia *et al.*, 2009). Siendo la etapa de purificación

muy necesaria, ya que la reacción de transesterificación de los aceites da como resultado ésteres más glicerina (triacolol), los ésteres puros representan el biodiesel, es por ello que estos restos de glicerina, glicéridos u otras sustancias como restos de catalizador, son consideradas como impurezas que deben ser retiradas en la etapa de la purificación del biodiesel (Lenoir, 2014).

2.7. TRANSESTERIFICACIÓN

Llamada también alcoholólisis, consiste en la reacción de un triéster de glicerilo (Triglicérido) con un alcohol para formar aquil ésteres y glicerol, debido a que esta reacción es reversible, es necesario la utilización de grandes cantidades de alcohol para desplazar el equilibrio hacia el lado de los productos (formación de éter metílico), siendo el metanol el que presenta una reacción rápida con los triacilglicéridos y se disuelve fácilmente en álcalis; para realizar una transesterificación estequiométricamente completa se es necesario mantener una relación molar de alcohol a triacilglicérido de 3:1, reaccionando en la metanolólisis 1 mol de triglicérido con 3 moles de alcohol (Ortega, Angulo, y Coardozo, 2014).

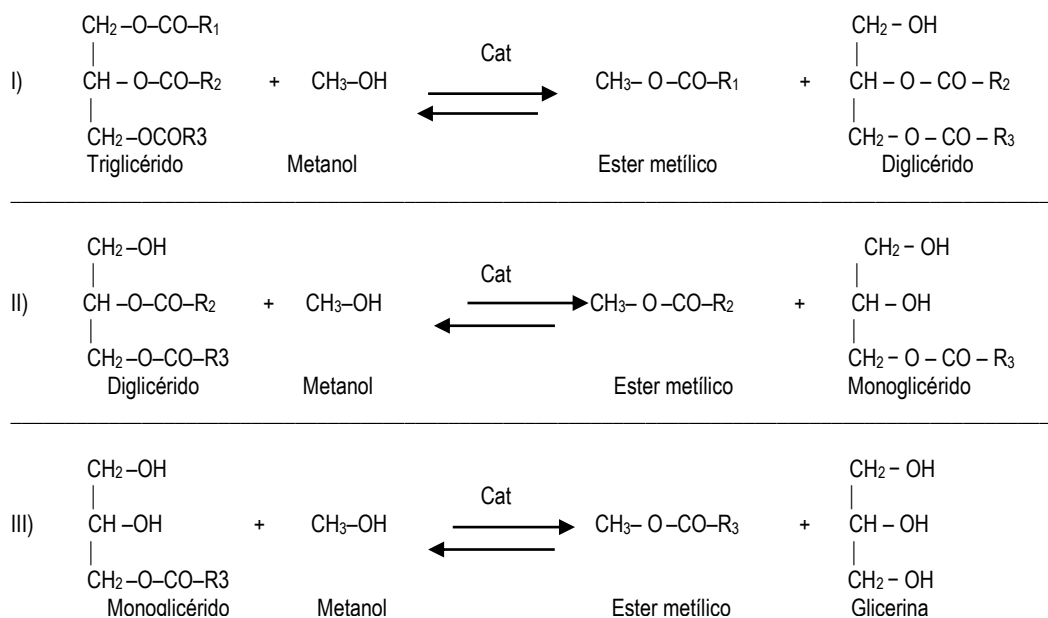


Figura 2.3. Etapas de la reacción de transesterificación de aceite vegetal con metanol para producir ésteres metílicos de ácidos grasos y glicerina.

La reacción de transesterificación de aceites vegetales con alcoholes ligeros consta de tres etapas consecutivas reversibles en las que el triglicérido es

convertido seguidamente en diglicérido, monoglicérido y glicerina produciendo en cada etapa una mol de aquil éster (Aliseda, 2002).

Un punto importante en el proceso de la transesterificación de aceites usados radica que son necesarias: temperaturas más elevadas, tiempo de reacción más largos y reactivos anhídridos, para evitar que se produzcan reacciones secundarias, como la de saponificación; los triglicéridos deben tener una baja porción de ácidos grasos libres para evitar que se neutralicen con el catalizador y se formen jabones (Medina, Ospino y Benitez, 2015).

2.7.1. CATALIZADORES DE LA TRANSESTERIFICACIÓN DE ACEITES VEGETALES.

La reacción de transesterificación de aceites vegetales empleando alcoholes ligeros se lleva a cabo bajo la acción de un catalizador que puede ser homogéneo, tanto ácido como básico o heterogéneo (Aliseda, 2002). La reacción puede ser catalizada con catalizadores homogéneos (ácido o base) o heterogéneos (ácido, base, o una enzima) consistiendo en la conversión de los triglicéridos en alquilésteres con el uso de alcoholes de cadena corta, por lo general los catalizadores más usados son catalizadores alcalinos homogéneos, especialmente el hidróxido de sodio y de potasio ya que proporcionan mayor velocidad de reacción que la conversión de los catalizadores ácidos para transesterificación de triglicéridos en biodiesel (Medina *et al.*, 2015).

Bengoagorostiza (2012), menciona que la utilización de catalizadores ácidos posee mayor ventaja ya que estos no son tan vulnerables como los catalizadores básicos a los ácidos grasos de la materia prima con la que se obtiene el biodiesel, transformándolos en biodiesel, sin embargo en la reacción de transesterificación con catalizadores ácidos es mucho más lenta en comparación con los catalizadores básicos por lo que para producir la transesterificación serán necesarias temperaturas y presiones más elevadas.

2.7.2. TEMPERATURAS ÓPTIMAS EN TRANSESTERIFICACIÓN.

La reacción de transesterificación es llevada a cabo en torno al punto de ebullición del alcohol empleado, ya que al incrementar las temperaturas del

medio de reacción, se produce un aumento de la solubilidad del metanol en el aceite, produciendo una mayor velocidad de reacción, entonces al aumentar la temperatura por encima de los niveles óptimos; la conversión de biodiesel disminuye debido a que las altas temperaturas de reacción aceleran la reacciones de saponificación de los triglicéridos, es por ello que la temperatura debe mantenerse por debajo del punto de ebullición del alcohol para asegurar que este no se pierde por vaporización (Dinis, 2012).

Así mismo Tejada *et al.*, (2013) mencionan que la temperatura para llevar a cabo la obtención de biodiesel es de 60 C, considerando que el punto de ebullición del metanol es de 64°C, establecido, así como un valor estimado para la operación.

2.8. NORMA NTE INEN 2482:09 BIODIESEL. REQUISITOS

Esta norma establece los requisitos que debe cumplir los ésteres metílicos o etílicos (FAME o FAEE) de ácidos grasos que van a ser usados como combustible para motores de ciclo Diésel. Se aplica al biodiesel con una concentración del 100% (B100) (cuadro 2.2).

Cuadro 2.2. Requisitos de biodiesel (INEN, 2009)

REQUISITOS	UNIDAD	MÍNIMO	MÁXIMO	MÉTODOS DE ENSAYO
Densidad a 15° C	Kg/m ³	860	900	ASTM D1298
Punto de inflamación	°C	120	---	ASTM D 93
Punto de Turbidez	°C			Reportar ¹
Φ Agua y sedimento	%	---	0,05	ASTM D 1796
Contenido de Agua	mg/kg	---	500	ASTM D 95
Viscosidad Cinemática a 40 °C	mm ² /s	3,5	5	ASTM D 445
Cenizas Sulfatadas	% (m/m)	---	0,02	ASTM D4530
Contenido de Azufre	Mg/kg	---	10	ASTM D 1552
W _{carbón Residual} ²	%	---	0,05	ASTM D 4530
Corrosión lámina de cobre	Clasificación	---	3	ASTM D 130
Número de cetano	-	49	---	ASTM D 613
Temperatura de destilación al 90% recuperado	°C	---	360	ASTM D 1160
W _{Glicerina Libre}	%	---	0,02	ASTM D 6584
W _{Glicerina Total}	%	---	0,25	ASTM D 6584
W _{Contenido de ésteres}	%	96,5	---	EN 14103
Índice de Yodo	g yodo/100 g	---	120	EN 14111
W _{Contenido de metanol}	%	---	0,20	ASTM D 4951
Contenido de fósforo	mg/kg	---	10	ASTM D 4951
Contenido de metales alcalinos (Na + K)	mg/kg	---	5	EN 14108
Contenido de metales alcalinos (Ca + Mg)	mg/kg	---	5	prEN 14538
Número de acidez	Mg KOH/g	---	0,5	ASTM D 664

¹El punto de turbidez del biodiesel generalmente es mayor que el diésel de origen fósil y debe ser tomado en consideración para los procesos de mezcla.

²Debe ser determinado en el 100% de la muestra.

2.9. ANÁLISIS DE COSTO UNITARIO.

El precio unitario es el resultado de un análisis minucioso de los cargos que integran en la producción, incluyendo los directos e indirectos. Utiliza un sistema inductivo, el cual analiza cada unidad del concepto de trabajo a través de una matriz, compuesta por la asignación de los recursos que intervendrán en la ejecución. Finalmente, el estimador asigna los recursos unitarios para cada renglón, tomando en cuenta que este es dinámico, ya que está sujeto como todo proceso a la evolución, es decir que con el tiempo todo va cambiando (Castillo, 2007).

Según Calero (2015) también se puede determinar el rendimiento de una obra pudiendo fijar la cantidad de obra que se va a realizar en un día, o por unidad de medida, y plantear un costo para el mismo. Considerando el costo directo que son todos los costos por concepto de materiales, mano de obra, herramientas o labores, aplicables al desarrollo de la obra de manera directa, y los costos indirectos que no están incluidos en los costos directos y son realizados por el contratista para poder tener en cuenta, los gastos generales de la organización, prestaciones sociales del personal directivo y administrativo y las regalías que precedan, entre otros.

CAPÍTULO III. DESARROLLO METODOLÓGICO

3.1 UBICACIÓN

El proyecto se llevó a cabo en la zona urbana de la ciudad de Portoviejo, el cual limita al Norte con los cantones Rocafuerte, Sucre, Junín y Bolívar, al Sur con el cantón Santa Ana, al Oeste con el cantón Montecristi y el Océano Pacífico y al Este con los cantones Pichincha y Santa Ana.

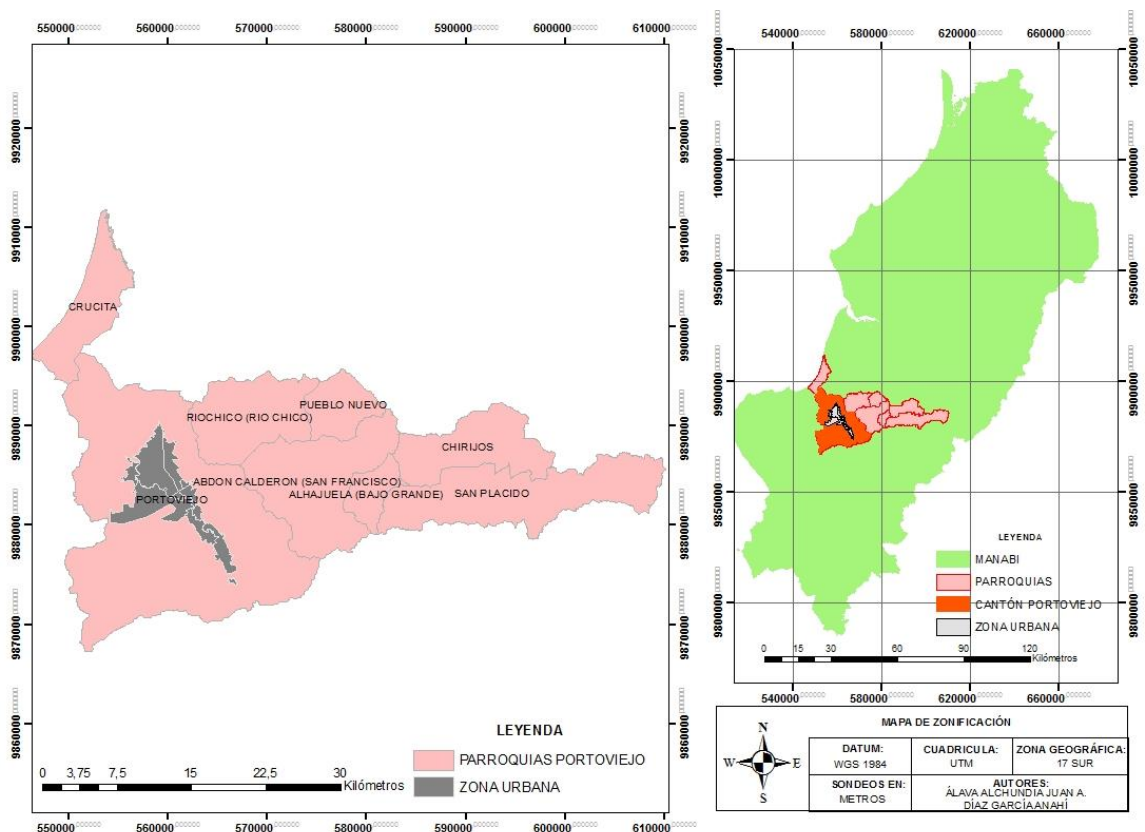


Figura 3.1. Ubicación del trabajo de investigación

3.2 DURACIÓN

La investigación tuvo una duración de 8 meses, correspondiendo al periodo marzo 2018 - octubre 2018.

3.3 MÉTODOS Y TÉCNICAS

3.1.1. MÉTODOS

La presente investigación es de tipo cualitativa, no experimental debido a que está orientada a participación de los miembros de los restaurantes para

identificar la generación y disposición final de aceites residuales, y la intervención de los investigadores para manipulación de aceites residuales para caracterizarlos fisicoquímicamente y usarlos en la producción de biodiesel, además engloba los siguientes aspectos:

DESCRIPTIVO: Se utilizó para describir el manejo de los aceites residuales de los restaurantes de Portoviejo.

INDUCTIVO: Se manejó este método para alcanzar conclusiones generales partiendo de la hipótesis, a partir de los análisis de aceites residuales para determinar la calidad del biodiesel.

HOLÍSTICA: Debido a que se analizó la situación del uso de los aceites de los restaurantes, generación de biodiesel, posibles costos.

BIBLIOGRÁFICO: Se utilizó la web para recopilar suficiente información en revistas científicas, libros u otros proyectos que estén relacionados con el tema.

3.1.2. TÉCNICAS

CAMPO. - Mediante visitas técnicas, se acudió a los restaurantes escogidos aleatoriamente.

ENCUESTA. - Mediante la encuesta se pudo obtener información acerca de la generación, gestión, uso, disposición final de los aceites residuales de los restaurantes de Portoviejo.

USO DE SOFTWARE. - Los programas que fueron utilizados como herramienta de trabajo fueron: Microsoft Office y Sistemas de Posicionamiento Global.

3.4. VARIABLES EN ESTUDIO

3.4.1. VARIABLE INDEPENDIENTE

Características físico-químicas de aceites residuales.

3.4.2. VARIABLE DEPENDIENTE

Calidad del biodiesel.

3.5. PROCEDIMIENTOS

3.5.1 FASE 1. CARACTERIZAR LOS ACEITES RESIDUALES DE LOS RESTAURANTES DE PORTOVIEJO.

Actividad 1. Recopilación de información en el GAD Municipal.

Por medio de una visita a las instalaciones del GAD Municipal del cantón Portoviejo se obtuvo los datos de los restaurantes registrados por el sistema de patentes según la ordenanza para la Determinación, Administración, Control y Recaudación del Impuesto de Patentes Municipales en el Cantón Portoviejo del 2016.

Actividad 2. Estimación de la producción de aceites residuales de los restaurantes de Portoviejo.

Para la estimación se utilizaron los criterios de Alfonso (2003) donde propone los siguientes puntos: determinar la zona de estudio, el número de establecimientos, por último, elección de los restaurantes por muestreo aleatorio para la aplicación de encuestas. Para determinar el número de establecimientos a estudiar se procedió a aplicar la fórmula del tamaño de la muestra según Bolaños (2012), aplicando los datos obtenidos del GAD de Portoviejo del registro de restaurantes (ecuación 3.1).

$$n = \frac{Z_{\alpha}^2 N p q}{i^2 (N - 1) + Z_{\alpha}^2 p q} \quad [3.1]$$

Dónde:

n = tamaño muestral de la población.

Z_{α}^2 = constante que depende del nivel de confianza.

p = prevalencia esperada del parámetro a evaluar ($p=0.5$).

i = error que se prevé cometer.

$q = 1 - p$.

Aplicando un mapa de zonificación de la ciudad de Portoviejo a partir de los resultados obtenidos dividiendo la ciudad de manera equitativa, para determinar la generación de aceites y su gestión. Posteriormente, se procedió a realizar una encuesta propuesta por Naranjo (2014) y Agencia Provincial de la Energía de Cádiz (2013) modificada para el caso de estudio (Ver anexo 1), la cual consta de diez preguntas y tiene como finalidad conocer e indagar acerca de las políticas de uso, manejo, control y desecho de los aceites comestibles usados en los restaurantes y comedores principales de la ciudad de Portoviejo y sus coordenadas.

Para establecer un estimado de la generación de aceites residuales se utilizó el porcentaje de absorción según el tipo de fritura que se realice en cada restaurante como lo menciona Montes *et al.*, (2016), el cual indica que para la cocción de alimentos en fritura profunda se absorbe un 40%, mientras que para la cocción de alimentos en fritura superficial se absorbe un 20%. Para ello se restó del total de aceite de acuerdo al tipo de fritura, en el caso que utilice ambos tipos de frituras superficial y profunda se realizó un promedio, es decir, 30% de absorción.

Actividad 3. Recolección y preparación del Aceite Residual.

Para la recolección se acudió a los establecimientos encuestados, a los que se le proporcionó un recipiente con una capacidad de 500ml, para que depositen los aceites residuales. La recolección de aceite residual se llevó a cabo durante un mes hasta cubrir el tamaño muestral de los restaurantes, se realizó una jornada de recolección por establecimiento.

Para preparar la muestra de aceites residuales previo a la caracterización de los mismos, las muestras recolectadas se mezclaron para conformar una muestra compuesta representativa. Para la preparación de la muestra compuesta se realizó la remoción física de sedimentos y partículas de alimentos residuales, realizando un medio filtrante para los aceites propuesto por Zambrano (2013), el cual menciona que debe ser primero vertido a través de un cernidor para eliminar las impurezas de mayor diámetro, luego se coloca el aceite precolado en un recipiente el cual contendrá zeolita y arena para

remover las impurezas de los aceites vegetales usados. Culminando así la preparación del aceite para su respectivo análisis y utilización como materia prima para la producción de biodiesel.

Actividad 4. Análisis físico-químicos del aceite recolectado y preparado.

Para el análisis fisicoquímico se tomaron en consideración los parámetros que se señalan en el cuadro 3.1, ya que según Tacias *et al.*, (2016) dichos parámetros son claves ya que determinan la factibilidad de una materia prima para la producción de biodiesel.

Cuadro 3.1. Parámetros de análisis de aceites residuales

PARÁMETRO	UNIDAD
Acidez exp. Ac. oleico	%
Índice de saponificación	mg/ g
Índice de peróxido	MEqO ₂ /kg
Punto de fusión	°C
Humedad	%
Densidad	g/ml

3.5.2 FASE 2. DETERMINAR LA CALIDAD DEL BODIESEL.

Actividad 5. Producción del biodiesel por medio del Reactor Batch.

Se determinó la cantidad de reactivos a utilizar, para ello se procedió a realizar el método de titulación para determinar la cantidad de reactivo para una reacción completa del aceite residual, cantidad de metanol a usar para los procesos de transesterificación y decantación en el Reactor tipo Batch perteneciente al laboratorio de la ESPAM – MFL.

a) Cálculo de reactivo a usar.

Se disolvió 5ml de aceite residual en 10ml de alcohol isopropílico, se adicionan 8 gotas de fenolftaleína al 1% y se tituló con una disolución de NaOH 0,1Normal (N) hasta lograr una coloración débilmente rosa. Se anotó el consumo de NaOH para neutralizar la acidez. Se desarrolló la ecuación (3.2) que indica el porcentaje de ácidos grasos contenidos en el aceite.

$$\% = \frac{\text{Consumo de NaOH} * \text{Normalidad} * \text{miniequivalente químico} * 100}{\text{Volumen de muestra}} \quad [3.2]$$

Una vez determinada la acidez y el volumen de consumo se estable por regla de tres simple, la cantidad deseada a mayor proporción. Adicional a esto, Calero *et al.*, (2007), en su metodología para el cálculo de hidróxido de sodio necesario para la reacción toman en cuenta que para aceites vírgenes es necesario 3,5g hidróxido de sodio, entonces se multiplica este valor por los litros de aceites a convertir, a este resultado se le suma los gramos de hidróxido de sodio que se obtuvo.

b) Cálculo del volumen de Metanol (CH₃OH) a usar

Para el cálculo del volumen del metanol que se utilizó, se aplicó la fórmula propuesta por Díaz y Guerrero (2018), para determinar el peso molecular aproximado de triglicéridos del aceite residual por medio de la ecuación 3.3 que estable una relación entre los moles de catalizador y el aceite entre el índice de saponificación (*I.S.*) del aceite residual, que indica el peso molecular del aceite usado.

$$PM_{trigliceridos} = \frac{168000}{I.S} \quad [3.3]$$

Una vez obtenido este resultado se calcula la cantidad de metanol a usarse por medio de las ecuaciones 3.4. y 3.5.

$$\% = \frac{PM_{CHO_3(OH)} * 6}{PM_{trigliceridos}} \quad [3.4]$$

$$Cantidad \ de \ CHO_3 \ (OH) = Volumen \ de \ aceite * \% \quad [3.5]$$

c) Deshidratación de la muestra de aceite residual.

Para disminuir el porcentaje de humedad del aceite, se procedió a realizar la deshidratación del mismo, el cual consistió en elevar la temperatura del aceite hasta los 100°C manteniendo la temperatura mientras el agua evapora, se agitó constantemente a manera de evitar que se formen burbujas de vapor, cuando empezó a salir menor vapor la temperatura se llevó a 130°C y se mantuvo durante 10 min, luego se dejó reposar hasta la disminución de la temperatura.

d) Procesos de transesterificación y decantación.

Se procedió a realizar el metóxido de sodio con las cantidades obtenidas de catalizador (Na OH) y metanol (CH₃OH) disolviéndose, para ello se tomaron las medidas de protección necesaria debido que el metóxido es corrosivo, realizando la mezcla en el tanque para el método del reactor Batch.

Con el aceite previamente deshidratado se ingresa en el tanque de mezcla del reactor el metóxido, manteniendo la temperatura de reacción en 60°C para evitar que el alcohol metílico se evapore y se mantiene en agitación constante para que la reacción sea homogénea durante una hora. Una vez transcurrido el tiempo se dejó decantar durante 4 horas, para que se separe la glicerina de los metilésteres (biodiesel) que se mantienen por encima.

Una vez transcurrido el tiempo del proceso de decantación, se procedió a extraer la glicerina accionando la llave de paso y cerrándola una vez que empiece a salir biodiesel. Una vez separadas ambas sustancias se registró el volumen del biodiesel y la glicerina obteniendo de esta manera el rendimiento de la reacción.

Actividad 6. Evaluar la calidad del biodiesel obtenido

Para evaluar la calidad del producto se aplicó la Norma NTE INEN 2482:09 Biodiesel. Requisitos, para la comparación con los rangos mínimos y máximos, mostrados en el cuadro 3.2.

Cuadro 3.2. Parámetros de análisis de aceites residuales

REQUISITOS	NTE INEN 2482:09		
	UNIDAD	MÍNIMO	MÁXIMO
Densidad a 15° C	Kg/m ³	860	900
Agua y sedimento	%	---	0,05
Viscosidad Cinemática a 40 °C	mm ² /S	3,5	5
Cenizas Sulfatadas	% (m/m)	---	0,02
Contenido de Azufre	Mg/kg	---	10
Carbón Residual	%	---	0,05
Corrosión lámina de cobre	Clasificación	---	3
Número de acidez	Mg KOH/g	---	0,5

3.5.2. FASE 3. ANÁLISIS DE COSTO PARA LA PRODUCCIÓN DE BIODIESEL A PARTIR DE LOS ACEITES RESIDUALES DE LOS RESTAURANTES DE PORTOVIEJO.

Actividad 7. Análisis de costo.

Para determinar el costo de producción de biodiesel, se tomó los resultados del estudio como base para detallar su precio unitario, considerando los costos directos e indirectos, partiendo como unidad un galón. Donde a través de una matriz se asignó los recursos que fueron necesarios para la obtención de biodiesel, considerando los siguientes parámetros:

a) Membrete.

a.1. Registro del nombre del proyecto a ejecutarse.

a.2. Descripción del rubro a tratar.

a.3. Unidad de medida.

b) Costo Directo.

b.1. Equipos. – Se detalló la información de los equipos que se utilizaron para la producción de biodiesel.

b.2. Mano de obra. – Se detalló la información del personal necesario para la obtención del biodiesel. La información presentada aquí tiene una clasificación de categorías de personal.

b.3. Materiales. – Se describió la información de los materiales que se utilizaron durante la obtención del biodiesel.

b.4. Transporte. - En este ítem se tomó en cuenta la información del transporte que sea necesario para el traslado de la materia prima.

c) Resultados.

c.1. Total Costos Directos. – Se obtuvo de la suma de los costos directos de mano de obra, materiales, equipos, transporte (b1+ b2 + b3 + b4).

c.2. Total Costos Indirectos. – Se consideró los costos adicionales que afectan indirectamente al proceso productivo del biodiesel.

c.3. Costo total. – Se obtuvo de la suma del Costo Directo más el Costo Indirecto (CD+CI).

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. CARACTERIZAR LOS ACEITES RESIDUALES DE LOS RESTAURANTES DE PORTOVIEJO.

4.1.1. Recopilar información en el GAD Municipal.

Se procedió a visitar las instalaciones del Gobierno Autónomo Descentralizado del cantón Portoviejo, en donde se facilitó la información del número de restaurantes avalados por el GAD Municipal de Portoviejo, dirección - parroquia, razón social, obteniendo de esta manera una base de datos de restaurantes registrados en el sistema de patentes del municipio, esta información corresponde al periodo 2016-2017 con un total de 141 establecimientos de comida ubicados en la zona urbana de Portoviejo.

Esta base de datos consta con los nombres de los restaurantes registrados en el sistema y una breve descripción del tipo de restaurante, ubicación. Además, en la misma se ofrece referencia para la ubicación de estos, en la visita técnica también se pudo obtener información espacial en formato “*shp*” y “*ECW*”.

Se procesaron los datos otorgados por el GAD Portoviejo de tal manera que se permitió georreferenciar los restaurantes de acuerdo a la dirección del establecimiento, de manera se obtuvo un mapa general de los restaurantes avalados por el GAD, esto también permitió reconocer su distribución espacial (Ver anexo 2).

4.4.2 Estimar la producción de aceites residuales de los restaurantes de Portoviejo.

Para determinar la generación de aceites residuales se realizó una encuesta a los restaurantes. Una vez obtenido el total de restaurantes, por medio de la fórmula de tamaño muestral; se realizó el cálculo consiguiendo de esta manera un total de 57 restaurantes.

$$n = \frac{(1,96)^2 * 141 * 0,5 * 0,5}{(0,1)^2 (141 - 1) + 1,96^2 * 0,5 * 0,5} = 57$$

Con el tamaño muestral se registraron junto con los datos espaciales obtenidos realizando un mapa de zonificación de los restaurantes en la ciudad de Portoviejo utilizando software de procesamiento de datos espaciales, por medio de la información de parroquias urbanas (formato *shp*) se procedió a dividir la ciudad en cuatro cuadrículas, utilizando también una imagen satelital de la ciudad, con la elección aleatoria de los 57 restaurantes se repartieron en las 4 cuadrículas (C1=14, C2= 14, C3=15, C4=14) repartiéndolos así de una manera homogénea y cubrir así una mayor superficie de la ciudad, obteniendo el mapa de zonificación (Ver Anexo 3).

El mapa general de los restaurantes de Portoviejo avalados por el GAD muestra que las mayores densidades de restaurantes se encuentran hacia el Norte de la zona Urbana de Portoviejo, con una mayor cantidad de restaurantes en las parroquias de: 18 de octubre, Andrés de Vera, y con menor en las parroquias Portoviejo, Picoazá, 12 de Marzo. Por ende, se escogió las parroquias con mayor número de restaurantes, para la zonificación y aplicación de encuesta (Ver Anexo 3 y 4). De esta manera se procedió a acudir a los establecimientos ya seleccionados y se aplicó la encuesta, donde se obtuvieron los siguientes resultados:

a. TIPOS DE FRITURAS

1. Tipo de aceites que consumen en los restaurantes.

Por medio del gráfico 4.1 se puede diferenciar que el aceite de palma es el más consumido en los restaurantes de la ciudad de Portoviejo con el 78,18%, seguido por aceite girasol con un porcentaje del 16,36%, seguido se encuentra el aceite de soya con un 5,45%. El mayor consumo de aceite de palma se debe porque su costo es bajo en comparación a los otros aceites, siendo más accesible para los restaurantes, ya que esto influye en los precios finales de los platos de comida que se expenden en el local.

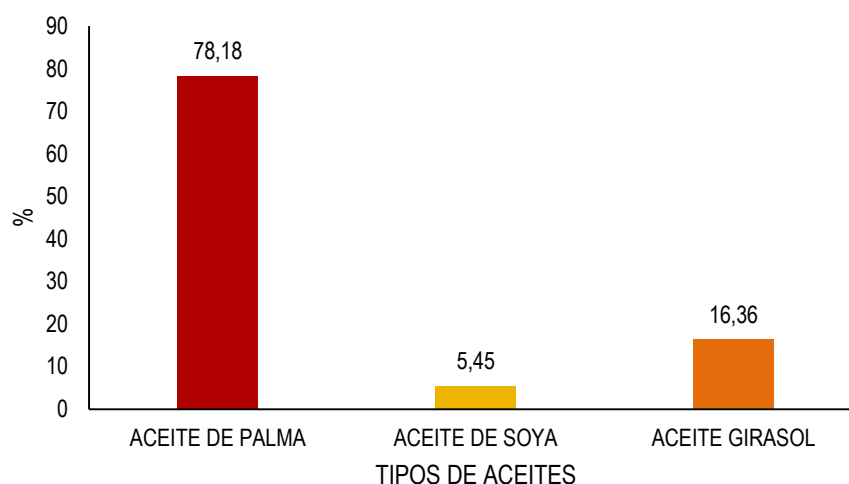


Gráfico 4.1. Tipos de Aceites usados en los restaurantes.

2. Cantidad de aceite que se consume en el establecimiento.

Se obtuvo un valor aproximado al consumo de aceites en los establecimientos de comida de Portoviejo, con un valor de 1003 litros semanales de todos los tipos de aceites. El gráfico 4.2., representa los tipos de aceites que son utilizados en los restaurantes portovejenses, de manera se da a conocer que el aceite más utilizado fue el de palma con una cantidad de 906 litros a la semana, seguido por el aceite de girasol con un valor de 77 litros, y por último se encuentra el aceite de soya con cantidades menores a los 20 litros por semana. De esta manera se da a entender que el aceite de palma va a representar una dominancia con respecto a la muestra.

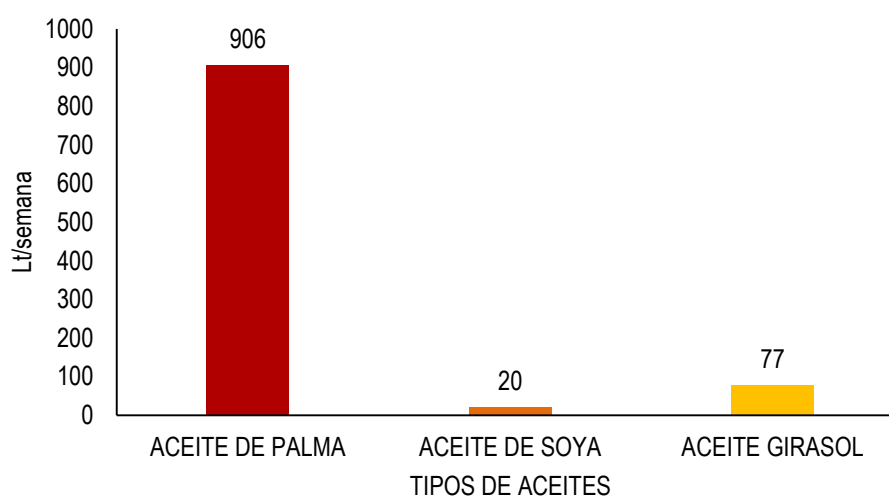


Gráfico 4.2. Cantidad de aceite según su tipo.

3. Tiempo promedio de uso de los aceites.

En cuanto al período de uso de los aceites, se encuentran el tiempo que son considerados útiles los aceites, es decir que el encargado da uso del total del aceite virgen por lo que no hay desperdicio del aceite virgen.

Los restaurantes que aluden al rango de tiempo de uso, en el gráfico 4.3. se da a conocer que el rango de tiempo de uso de estos aceites con mayor frecuencia de 1 día, es decir, una jornada de trabajo, con un porcentaje del 59,65, seguido sin reusar con 17,54%, posterior el tiempo de 2 a 4 días con un 21,05%, prosiguiéndole el rango mayor a 4 días con 1,75%.

Se debe recalcar que durante los períodos de espera “stand by” (incluye los tiempos durante los cuales el aceite es calentado y enfriado en la freidora en ausencia de alimentos, expuesto al aire a elevadas temperaturas) y de fritura (durante éste, el aceite está expuesto a altas temperaturas, al aire y al vapor proveniente del agua del alimento que se está friendo), el aceite se encuentra a altas temperaturas en presencia de aire por lo que el proceso de oxidación se desarrolla con mayor velocidad. La mayor parte de estos nuevos productos son los responsables de las características del olor desagradable de los aceites usados y de los alimentos fritos (Juárez, 2007).

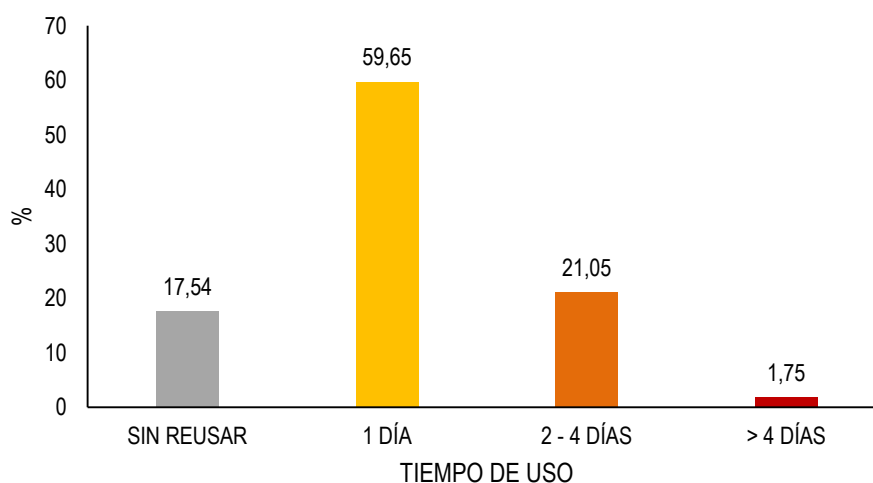


Gráfico 4.3. Tiempo de uso de los aceites.

4. Mezclas entre aceites nuevos y usados para freír.

El gráfico 4.4., refleja que en la mayoría de los casos los restaurantes no realizan mezclas entre aceites nuevos y usados representados por el 91% de locales, mientras que el 8,77% de restaurantes respondieron de manera afirmativa que se realizan mezclas.

Yagüe (2003), menciona que cuando se añade aceite nuevo al ya usado o alterado, facilita su oxidación; produciendo olores, sabores no deseados y oscurecimiento, así como aumento de la viscosidad y formación de espuma.

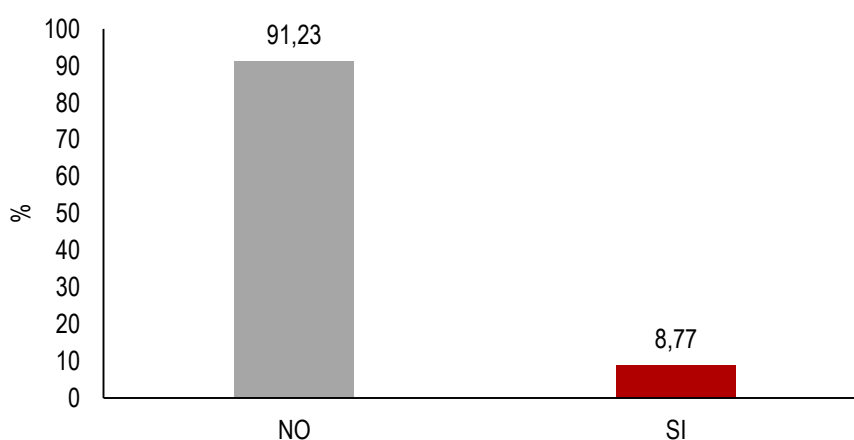


Gráfico 4.4. Mezclas entre aceites usados y nuevos.

5. Tipo de fritura más frecuente.

En cuanto al tipo de frito, el gráfico 4.5 permite apreciar el tipo de frituras que con más frecuencia fríen, los valores que poseen más recurrencia es las frituras profundas con el 42,11% esta refiere a que el alimento se sumerge totalmente en el aceite, llevándose a cabo en freidoras caseras o industriales o en recipiente que contiene un alto nivel de aceite, en todos los casos el producto está totalmente cubierto por el aceite y la fritura ocurre uniformemente sobre toda la superficie (Yagüe y Rodríguez, 2012).

Por otra parte, la fritura superficial se refiere a que se sumerge en el aceite la superficie del alimento que se desea freír, realizándose normalmente en sartenes o recipientes de poca profundidad y con bajo nivel de aceite, el producto no queda totalmente cubierto por éste. La parte del alimento sumergida se fríe y la que no está en contacto con el aceite se cuece debido al vapor intenso que se va desprendiendo del mismo producto al calentarse

(Yagüe y Rodríguez, 2012), con un total del 29,82% de los restaurantes empleando este tipo de frituras, se aprecia también en este caso que el 28,07% de restaurantes respondieron que se realizan los dos tipos frituras.

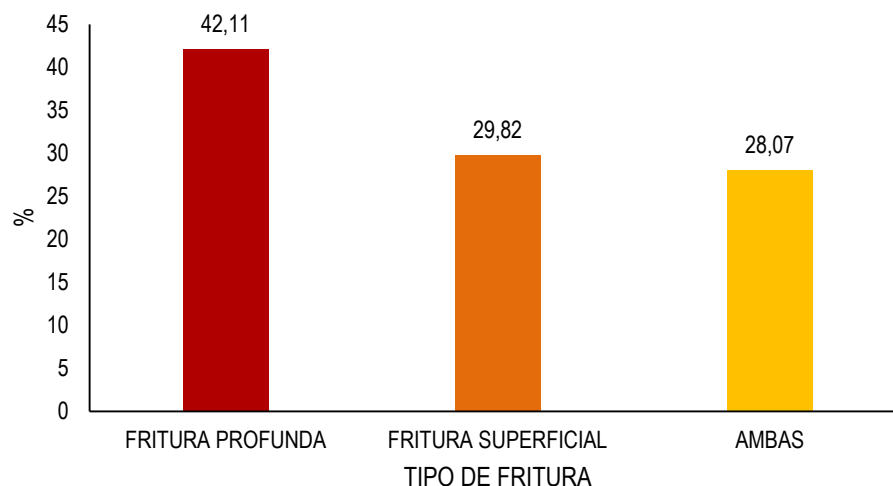


Gráfico 4.5. Tipos de frituras que realizan en los restaurantes.

b. GESTIÓN DEL ACEITE USADO.

6. Reutilización de aceites.

En el campo de reutilización de aceites el gráfico 4.6. expone que la mayoría de los restaurantes respondieron de manera afirmativa a la pregunta, con un total del 75,44 % de restaurantes como se da a conocer en la gráfica, mientras que el 24,56% respondieron que no se reutiliza los aceites.

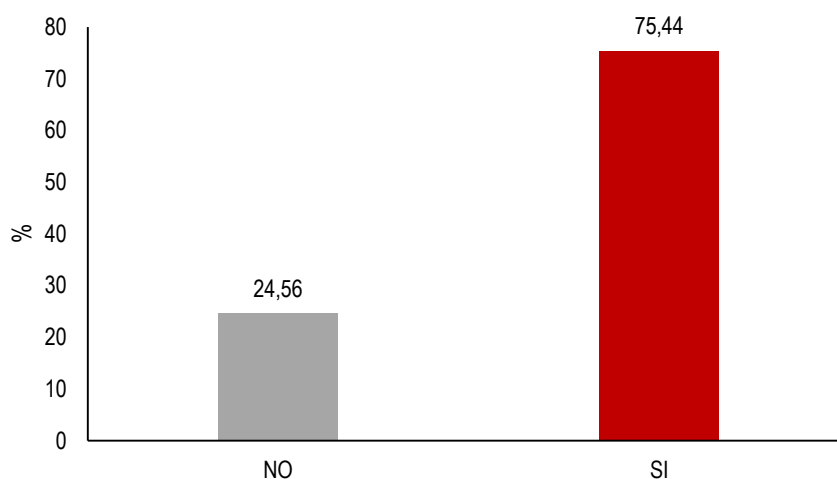


Gráfico 4.6. Reutilización de aceite en los restaurantes.

En el gráfico 4.7 expone el número de veces que se reutiliza el aceite, es decir la cantidad aproximada de veces en que es usado el aceite para freír el

alimento, reflejando los siguientes valores: con un 34% de restaurantes aseguran usarlos un número de entre 1 y 4 veces, seguido por 26% correspondiente a un número de 9 a 12 y mayor a 12 veces usado, finalmente se encuentra de 5 a 8 veces con 14%.

De acuerdo a la Organización de Consumidores y Usuarios – OCU (2017) cualquier variedad de aceite puede resistir bien hasta 25 frituras en buenas condiciones, lo cual implica que debe ser usado bajo condiciones controladas es decir temperatura, tipo de alimentos a freír y recipiente en el cual se frien los alimentos.

Suaterna (2009) asegura que los aceites de fritura se reutilizan varias veces para freír nuevas porciones de alimentos, por lo que se puede reutilizar de 22 hasta 30 veces, con una utilización diaria promedio de 8 horas suponiendo un cambio semanal del aceite, no obstante se han realizado investigaciones para determinar el tiempo en que se puede utilizar el aceite a temperaturas de fritura e identificar con exactitud el número de veces que se pueden freír alimentos, pero aún no hay consenso.

Los aceites empleados para freír tienen un rol funcional y sensorial importante. Durante la fritura los aceites que se usan repetidamente, a elevadas temperaturas en presencia del oxígeno atmosférico, causan la conversión parcial de los aceites en productos de escisión volátiles; en derivados oxidados no volátiles y en dímeros, polímeros o compuestos cíclicos (Juárez, 2007).

Yagüe (2003), menciona que los principales cambios y alteraciones químicas de los aceites calentados son la hidrólisis que se produce en presencia de agua o humedad y calor, que provocan la ruptura del enlace éster de los triglicéridos, los cuales se descomponen en mono glicéridos y di glicéridos y aparecen ácidos grasos libres, la oxidación que consiste en la acción del oxígeno sobre los ácidos grasos, son las más relacionadas con la salud y la nutrición, ya que a partir de éstas se forman hidroperóxidos, compuestos polares y monómeros y polímeros cíclicos. La formación de polímeros que se da en presencia de radicales libres que se combinan entre sí o con los ácidos grasos forman polímeros lineales, tienden a aumentar la viscosidad del aceite y la formación

de espuma y a formar una capa de consistencia plástica en la superficie del aceite y en el recipiente, que es muy difícil de eliminar.

Sin importar la fuente todos los aceites se deterioran lenta o rápidamente dependiendo de factores controlables y no controlables. Entre los controlados se encuentran las prácticas de manejo, el tipo de fritura, la relación entre cantidad de alimento y volumen de aceite, el tipo de alimento, la temperatura que alcanzan los aceites, la reposición o no de aceite, el retiro de los restos de alimentos en el aceite y el tiempo de utilización. Entre los no controlables se resalta la presencia de oxígeno (Suaterna, 2009).

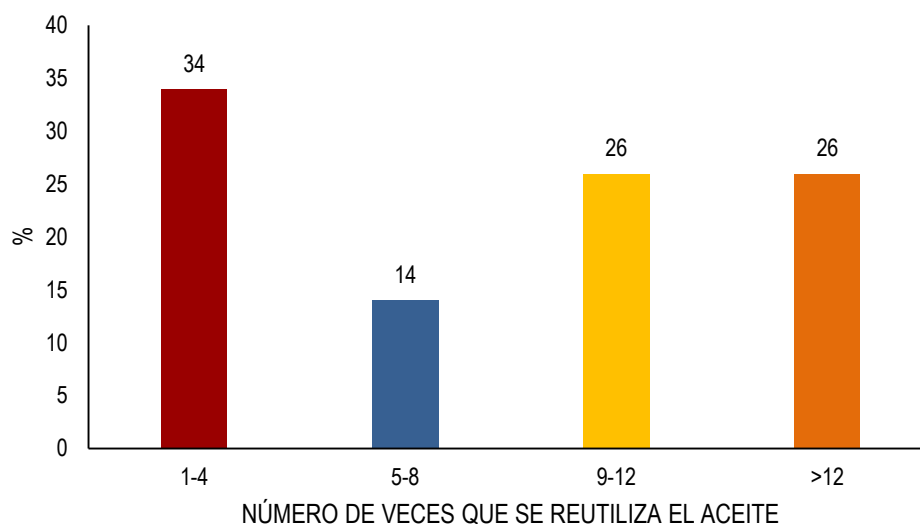


Gráfico 4.7. Número de veces que se reutiliza el aceite.

7. Política o criterio para el desecho de los aceites usados.

En lo que respecta a la existencia de políticas o criterios para el desecho de estos aceites residuales, la mayoría de los restaurantes respondieron “SI” con un valor del 52,63%, mientras que el 47,37% de restaurantes respondieron “NO” tal como se muestra en el gráfico 4.8. Los criterios de desecho que tenían los restaurantes.

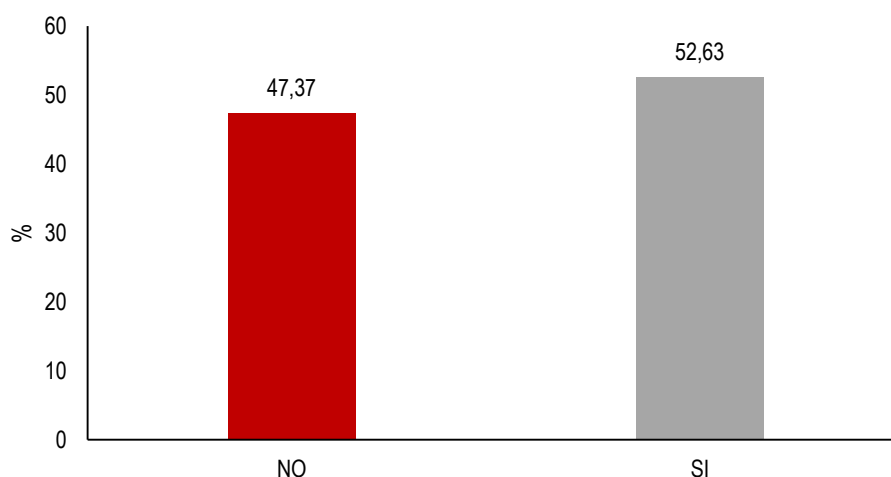


Gráfico 4.8. Política de desecho del aceite residual.

8. Trampa de grasa.

La gráfica 4.9., muestra el número de restaurantes que poseen en sus locales trampa de grasa con un total de 82,46%, seguido por un total de 17,54% de restaurantes que no poseen trampa de grasas. Desde el año 2011 la Empresa Pública Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Portoviejo (EPMAPAP) desarrolló una ordenanza que regula el Control de los Sistemas de Agua Potable y Alcantarillado, donde se estipuló que los dueños de restaurantes instalen trampas para grasas siendo este mecanismo un requisito para la obtención de la patente municipal, actualización y certificaciones de locales comerciales del cantón.

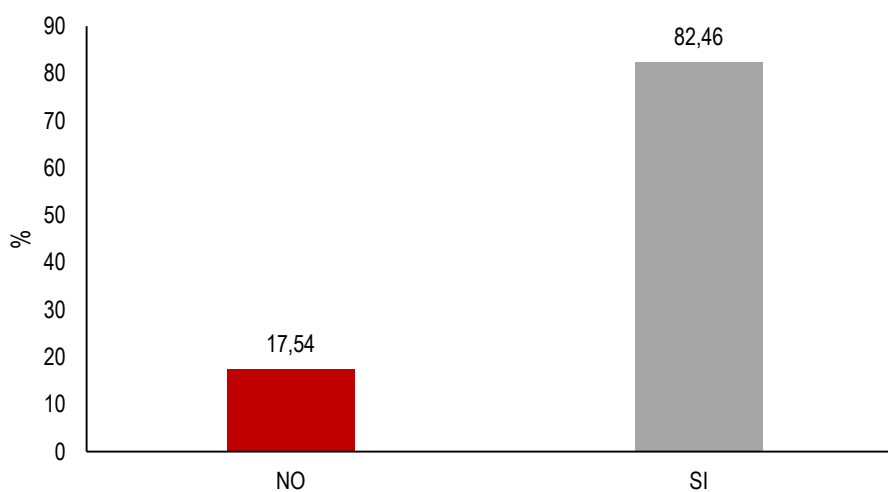


Gráfico 4.9. Trampa de grasas.

9. Disposición final del aceite usado.

El gráfico 4.10, muestra la disposición final del aceite usado, el cual el mayor valor respondió que los aceites son depositados en recipientes y entregado a una entidad con 46,61% de restaurantes, seguido por “arrojados a la basura junto con otros desechos” con un total de 35,09%, posterior le sigue el valor de 14,04% correspondiente a “otros”, lo que alude a otras maneras de desechar el aceite como: controlador de maleza, balanceado para cerdo y empleado en parrillas para encenderlas. Finalmente 5,26% de locales respondieron que estos desechos son arrojados a la lava platos.

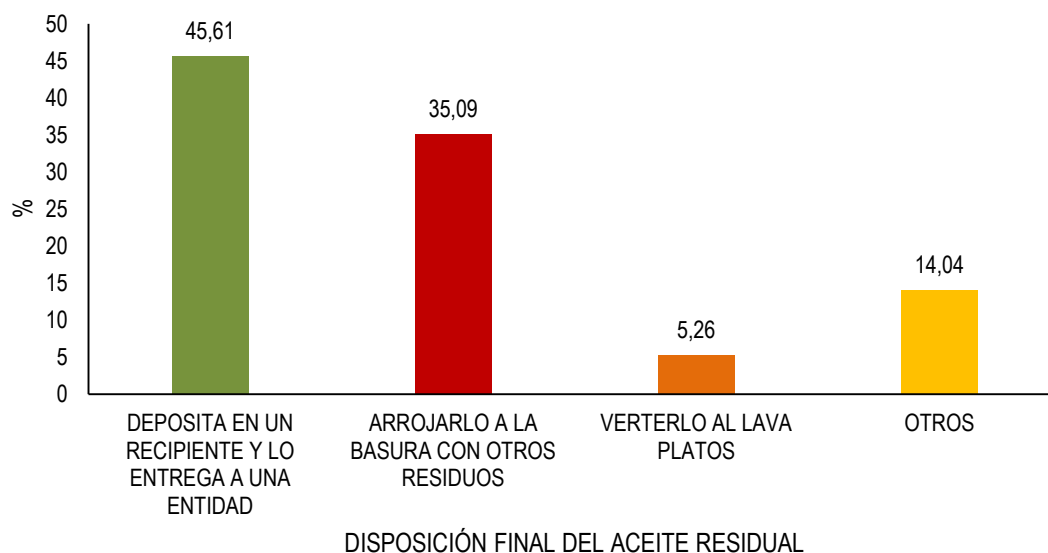


Gráfico 4.10. Disposición final del aceite residual.

10. Sistema de recogida de aceite residual en la zona.

El gráfico 4.11., muestra que en la mayoría de los casos en la zona donde funcionan estos establecimientos de comida, no existe un sistema de recogida con un 54,39%, mientras que el 46,61% de restaurantes aludieron que si existe un sistema de recogida de los aceites en su localidad.

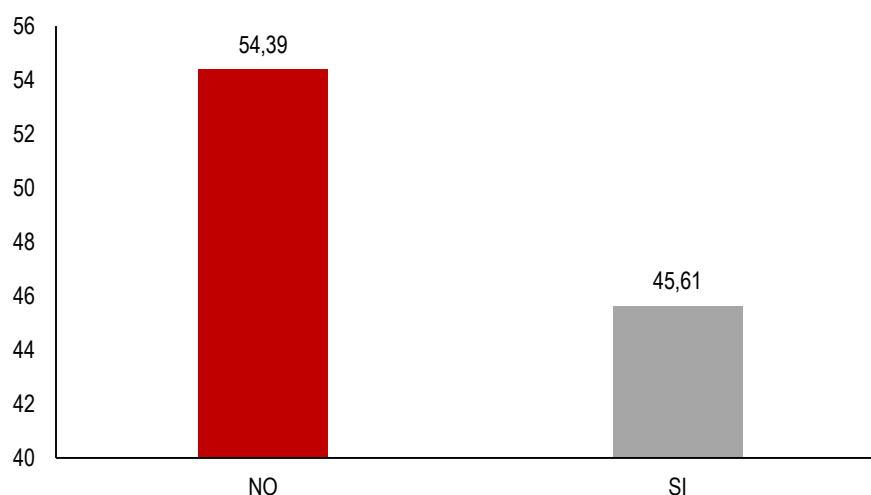


Gráfico 4.11. Sistema de Recogida de aceites residuales.

Para la estimación de la generación de aceites residuales de los restaurantes de Portoviejo, se lo realizó con los datos obtenidos de la encuesta en el consumo de aceite virgen, al cual se redujo los porcentajes absorción de aceite de acuerdo a las frituras y alimentos propuestos por Montes *et al.*, (2016). Como se da a notar en el 4.1 los valores correspondientes a la absorción de aceites de acuerdo con el tipo de fritura empleado en la cocción de alimentos.

Cuadro 4.1. Porcentajes de absorción de acuerdo al tipo de fritura.

ENTRADA	% DE ABSORCIÓN	SALIDA
Aceite Virgen		Aceites Residuales
608 l/semana	Cocción de alimentos en fritura profunda (40%)	364,80 l/semana
148 l/semana	Cocción de alimentos en fritura superficial (20%)	118,40 l/semana
247 l/semana	Ambas frituras (30%)	172,90 l/semana

El cuadro 4.2 indica que se generan 653 litros a la semana de aceite residuales, siendo la diferencia del total de 35% absorbido por los alimentos, en el cual la mayor cantidad de aceite residual corresponde a fritura profunda con 364,80 litros, seguido de 172,90 litros generados por la utilización de ambas frituras (profundas y superficial), por último, la fritura superficial que corresponde a 118,40 litros.

Cuadro 4.2. Estimación de generación de aceites residuales.

	SEMANA	% de abs	RESIDUAL	TOTAL (l/semana)
ACEITE	608	243,2	364,80	656
(Litros)	148	29,6	118,40	
	247	74,1	172,90	

4.4.3 Recolectar y preparar el aceite residual.

Una vez entregados y recolectados los envases que fueron proporcionados por los encargados de los establecimientos se observó que los restaurantes de comidas proporcionaron aproximadamente 250ml de 500ml de capacidad de volumen del recipiente, esto se debe a que en sus menús no freían constantemente ni a cantidades considerables, mientras que los locales de comida rápida, proporcionaban el envase completamente lleno ya que estos generan mayores volúmenes de aceite en el proceso de frituras (Ver Anexo 5).

Posteriormente, el aceite que se obtuvo se mezcló en un recipiente conformando una muestra compuesta y representativa de los aceites residuales de la zona urbana de Portoviejo, en este proceso se tamizó el aceite para la remoción de sedimentos de comidas de mayor proporción.

Para el diseño del filtro se procedió a realizar una adaptación de los valores establecidos por Zambrano (2013) en lo que respecta a los gramos de arena y zeolita usados. En este caso se proyectó los valores por medio de regla de tres simples obteniendo 4000 g (8,8 lb) de arena y 6000 g (13,23 lb) de zeolita, estos valores fueron establecidos para un flujo de 15 l de aceite residual a tratar, para utilizar la arena fue tamizada en un tamiz # 35 con el fin de eliminar impurezas que pueda contener.

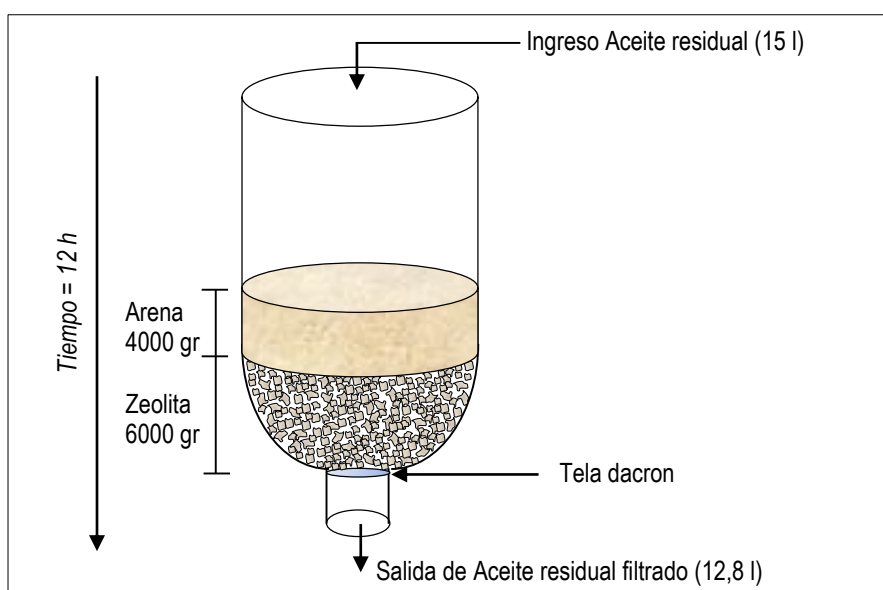


Figura 4.1. Proceso del filtro de arena y zeolita.

Cabe mencionar que la pérdida del aceite corresponde al porcentaje absorbido del filtro, los residuos que quedaron adheridos en los envases, y pequeños derrames en el proceso; obteniendo una pérdida de 2,2 litros de aceite residual.

Una vez que se sometió el aceite residual al filtro, se observó un cambio de su coloración, siendo una característica que indica a la reducción de las impurezas o sólidos disueltos y suspendidos presentes en los aceites residuales. Fueron retenidas en el filtro, determinando así que es necesario la aplicación de este filtro para la eliminación de estas impurezas y proceder a su manejo (Ver Anexo 6).

4.4.4 Análisis fisicoquímicos del aceite recolectado y preparado.

El cuadro 4.3 presenta los resultados de la caracterización del aceite residual y a manera de diferenciar su estado se lo comparó con los valores de la norma NTE INEN 1640:2012 ACEITE COMESTIBLE DE PALMA AFRICANA - OLEÍNA. REQUISITOS, que establece los requisitos que debe cumplir la oleína de la palma africana – oleína para su producción, es decir, son los parámetros que cuentan inicialmente los aceites de palma vírgenes, se escogió este ya que en las encuestas se muestra que hay una mayor incidencia en el uso del aceite de palma, por el cual van a predominar más sus características.

A) ACIDEZ.

La acidez se encontró en un 0,42%, el cual tiene un aumento desde su estado virgen, se debe por las altas temperaturas de los procesos típicos de cocción y el agua de los alimentos, estos aceleran la hidrólisis de los triglicéridos e incrementan el contenido de ácidos grasos libres impartiendo al aceite un color más oscuro y un olor desagradable (Tacias *et al.*, 2016). Medina *et al.*, (2015) encontraron la acidez desde 1,084% hasta 2,701%, en cambio los aceites residuales estudiados por López *et al.*, (2015) encontraron la acidez en 1%, ambos son valores altos comparados con los de esta investigación, sin embargo, el estudio realizado por Tacias *et al.*, (2016) obtuvo valores similares que van desde 0,22% hasta 1,05%.

De acuerdo al índice de acidez, los aceites residuales son aptos para producir biodiesel. Según Galdames (2003), los ácidos grasos libres presentes, con valores normales que promedian el 0,5% no interfieren mayormente con la transesterificación realizada bajo condiciones básicas. Las cantidades de ácidos grasos libres presentes en aceites usados puede aumentar de acuerdo al uso continuo al cual éstos sean sometidos, alcanzando valores que fluctúan entre un 5-15%, por otro lado, Sharma, Singh, y Upadhyay (2008) han observado que un contenido de ácidos grasos libres cercano a 1% en el aceite de cocina residual no tiene efecto en la conversión de ésteres metílicos por transesterificación alcalina.

Otros autores mencionan que las materias primas para ser utilizadas en la producción de biodiesel es necesario que tengan valores de acidez menores a 2 (gr de ácido oleico (AO)/100 gr de muestra (M)) (Pisarello, 2011), ya que con niveles de acidez por encima del 2% no se puede conseguir un biodiésel que cumpla las especificaciones europeas para obtener un producto de buena calidad (Aracil, Bouaid, Vázquez, y Martínez, 2016). Por esto, la determinación del porcentaje de acidez definirá el proceso que se debe seguir con el aceite debido ya que según Bulla (2014) este es un factor clave para determinar qué proceso se realizará, se aplica el proceso de transesterificación en el aceite si el valor de acidez es $< 3\%$, por lo que si la acidez es muy alta se tendrá una menor conversión a ésteres teniendo que someterse a un tratamiento de esterificación previo.

B) ÍNDICE DE SAPONIFICACIÓN.

Este se define por el número de miligramos de KOH necesario para saponificar 1 gr de aceite. Un aspecto importante es que este valor se emplea para establecer aproximadamente la masa molar promedio del aceite utilizado, esta relación es necesaria para establecer la relación aceite-alcohol al momento de los cálculos de alcohol a usar para una reacción completa.

El índice de saponificación fue de 168,14 mg/g, valor que se asemeja bastante al valor obtenido por Murcia, Cháves, Rodríguez, Andredy, y Alvarado (2013) con un valor de 160,1 mg/g para aceites que no han sido utilizados, por lo cual

el valor del índice de saponificación de los aceites de los restaurantes de Portoviejo se acerca al valor de un aceite fresco.

A manera de comparar el índice de saponificación obtenido en esta investigación, se da a notar que los valores que fueron reflejados por Zuleta, Bonet, Díaz, y Bastidas (2016) son de 199,289 mg/g el cual se encuentran dentro de los límites que requiere la norma para aceites fresco de palma Norma Técnica Colombiana NTC-431, dando a notar que se presenta un índice de saponificación aceptable.

C) ÍNDICE DE PERÓXIDO.

El índice de peróxido es un buen índice de la calidad del aceite, estableciendo que un aceite fresco debe estar por valores <1 (Bulla, 2014). El incremento de este valor, se debe a que se forman debido a las reacciones térmicas, químicas y bioquímicas en el que los dobles enlaces de los ácidos grasos constituyentes reaccionan con el oxígeno del aire formando compuestos que al descomponerse originan otros, a los cuales se les atribuye el olor y sabor desagradables característicos de las grasas oxidadas, y es esto lo que se conoce con el nombre de rancidez (Rivera, Gutiérrez, Gómez, Matute, y Izaguirre, 2014).

El índice de peróxido presentó un valor de 9,72 mEqO₂/kg, esto indica que no superó los valores máximos establecidos en la norma 1640:12. Aceite comestible de palma africana - oleína. Requisitos, este valor se asemeja a los obtenidos por Díaz y Guerrero (2018) de 9,45 mEqO₂/kg para aceites usados sin embargo en comparación lo los valores obtenido por Medina *et al.*, (2015) se encuentra por encima un promedio de 4,325 mEqO₂/kg, este valor además indica que a este nivel el biodiesel obtenido permitirá una combustión más completa reduciendo principalmente emisiones de monóxido de carbono e hidrocarburos no quemados.

Por ello al tener un valor dentro del rango y al no alejarse significativamente del valor de 4,325 mEqO₂/kg, indica que el aceite residual es óptimo para la producción de biodiesel.

D) PUNTO DE FUSIÓN.

El valor de punto de fusión se encontró en 25°C, el cual aumentó debido a que los ácidos oleicos presentan un punto de fusión de 14°C, su incremento se debe que a medida que aumenta el tamaño de la cadena de los ácidos grasos, el punto de fusión también aumenta (Naranjo, 2014).

E) HUMEDAD.

El resultado del aceite residual recolectado en los restaurantes de la ciudad de Portoviejo evidencia una humedad de 0,17%, Galdames (2003) menciona que la humedad o agua presente, según su proporción, provocará reacciones secundarias de hidrólisis o saponificación de los triglicéridos, en competencia con la transesterificación. Como resultado, se generan jabones, mono y diglicéridos que dificultarán la adecuada separación de los ésteres metílicos, por otra parte, Bulla (2014) en su investigación aclara que la humedad (Agua) para los aceites refinados es menor a 0,1% ya que la presencia de agua en el aceite produce la hidrólisis de los triglicéridos.

De acuerdo con Zuleta *et al.*, (2016) sostienen que valores por encima del 1% de humedad incrementan la formación de jabón impidiendo una completa reacción de transesterificación.

De esta manera se aprecia que el valor de humedad del aceite recolectado no supera el porcentaje de valores consultados de literaturas referencial, sin embargo, en comparación a los límites máximos establecidos en la norma INEN 1640:12 estos valores superan a lo establecido de 0,05%, esto indica que el aceite debe ser deshidratado antes del proceso de transesterificación para mejores resultados y un ahorro en la producción implicando menos consumo de reactivos.

F) DENSIDAD.

El valor de densidad del aceite residual es de 0,91g/ml el cual se encuentra dentro de los valores establecidos en la normativa NTE INEN 1640-2012, de acuerdo con Bulla y Guerrero (2014) las propiedades del biodiesel son altamente influenciadas por la composición del índice de acidez, viscosidad y

densidad, en cuya investigación se obtuvieron los valores de 0,921 g/ml para densidad.

Cuadro 4.3. Resultados de los análisis fisicoquímicos del aceite residual (Ver Anexo 8), comparados con la norma NTE INEN 1640:12. Aceite comestible de palma africana - oleína. Requisitos.

Parámetro	Unidad	Resultados	Incertidumbre	NTE INEN 1640:2012	
				MÍNIMO	MÁXIMO
Acidez exp. Ac. oleico	g/100 g	0,42	± 0,02	-	0,2
Índice de saponificación	mg/ g	168,14	-	-	-
Índice de peróxido	mEqO ₂ /kg	9,72	± 0,49	-	10,00
Punto de fusión	°C	25	-	-	-
Humedad	%	0,17	± 0,003	-	0,05
Densidad	g/ml	0,9143	-	0,891	0,914

4.2. DETERMINAR LA CALIDAD DEL BIODIESEL.

4.2.1. Producción del biodiesel por medio del Reactor Batch.

a) Cálculo de reactivo a usar.

$$\% = \frac{1 \text{ ml} * 0,0920 * 0,282 * 100}{5 \text{ ml}} [4.1]$$

$$\% = 0,518$$

El aumento del porcentaje acidez se presentó porque el aceite estuvo almacenado durante un mes, y continuando con su deterioro producto de la hidrólisis de los ácidos grasos libres presentes que comienzan a sufrir los aceites en su interacción con el ambiente y el agua que conllevan a una serie de reacciones disminuyendo la estabilidad de los aceites (Rivera *et al.*, 2014).

Cálculos para determinar la cantidad de hidróxido de sodio a mayor volumen (12,8 litros).

$$\begin{array}{l} 5 \text{ ml} \rightarrow 1 \text{ ml} \\ 12\ 800 \text{ ml} \rightarrow x \\ \quad \quad \quad \downarrow \\ \quad \quad \quad 2560 \text{ ml} \end{array}$$

Cabe recalcar, que el hidróxido de sodio se encontraba al 0,1 N, para conocer su peso se procedió a realizar lo siguiente:

NaOH

$$\begin{array}{r} \text{Na} = 23 \\ \text{O} = 16 \\ \text{H} = 1 \\ \hline 40 \text{ g/mol} \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 40 \text{ g/mol} \rightarrow 1 \text{ N} \\ x \rightarrow 0,1 \text{ N} \\ \downarrow \\ 4 \text{ g/mol} \rightarrow 1000 \text{ ml} \\ x \rightarrow 2560 \text{ ml} \\ \downarrow \\ 10,24 \text{ g} \end{array}$$

$$3,5 * 12,8 = 44,8 \text{ g}$$

$$44,8 \text{ g} + 10,24 \text{ g} = 55,04 \text{ g NaOH}$$

En total se pesó 55,04 gramos de NaOH, para neutralizar el aceite residual, y preparar el metóxido.

b) Cálculo del volumen de Metanol (CH₃OH) a usar.

$$PM_{\text{trigliceridos}} = \frac{168000}{168,14 \text{ g/mol}} = 999,16 \text{ g/mol}$$

$$\% = \frac{32,042 \text{ g} * 6}{999,16 \text{ g}} * 100 = 19,24$$

$$\text{Cantidad de } \text{CHO}_3 \text{ (OH)} = 19,24 \% * 12,8 \text{ lt}$$

$$\text{Cantidad de } \text{CHO}_3 \text{ (OH)} = 2,5 \text{ lt}$$

Cabe mencionar que el metanol utilizado tiene 97% de graduación alcohólica.

c) Deshidratación de la muestra de aceite residual.

Se calentó el aceite residual en el tanque de mezcla controlando su temperatura hasta alcanzar los 130°C durante una hora. Se observó la generación de vapores en el proceso.

d) Procesos de transesterificación y decantación.

Una vez sometido el aceite residual al proceso, se obtuvo 10,5 litros de biodiesel mientras que de glicerina se obtuvo 4,8 litros. Esto representa que el rendimiento de la reacción fue del 82%, lo que se deduce que existió una reacción completa del aceite.

4.2.2. Evaluar la calidad del biodiesel obtenido.

Los resultados de los análisis aplicados al biodiesel Recuperado de los aceites residuales reflejan en su mayoría de parámetro que exceden lo establecido en la norma técnica, así mismo se notó que ciertos los parámetros cumplen la norma técnica.

Los valores que se encuentran dentro de los rangos establecidos en la norma son: Contenido de Azufre 0,03 mg/kg, Corrosión lámina cobre 1B correspondiendo a un deslustre ligero y coloración naranja oscuro según la clasificación de tira cobre, número de acidez 0,296 mg KOH/g.

Mientras que los valores que sobrepasa los rangos son agua y sedimento 0,30% ocasionado por el exceso de agua en el aceite residual, por ende hay que considerar que la materia prima para producir biodiesel debe tener el menor contenido de agua posible, el exceso de sedimentos se debe a que al momento en que se realizó el envasado no se realizó una filtración final, por lo que es necesario someterlo a una filtración para eliminar sedimentos existentes, la viscosidad cinemática 17,23 mm²/S, densidad 911,4 Kg/m³, cenizas 0,57% y carbón residual 0,55% este parámetro indica la tendencia de una muestra a formar depósitos carbonosos esencialmente por pirólisis de la muestra.

Cuadro 4.4. Resultado de los análisis de Biodiesel (Ver Anexo 9).

REQUISITOS	NTE INEN 2482:09			RESULTADOS
	UNIDAD	MÍNIMO	MÁXIMO	
Densidad a 15° C	Kg/m ³	860	900	911,4
Agua y sedimento	%	---	0,05	0,30
Viscosidad Cinemática a 40°C	mm ² /S	3,5	5	17,23
Cenizas	% (m/m)	---	0,02	0,57
Contenido de Azufre	mg/Kg	---	10	0,0332
carbón Residual	%	---	0,05	0,55
Corrosión lámina de cobre	Clasificación	---	3	1B
Número de acidez	mg KOH/g	---	0,5	0,296

Se puede mencionar, que las propiedades de la materia prima a utilizar para obtener biodiesel, va a influir en la calidad del biocombustible; debido a que, las características contenidas originalmente en la materia prima son transferidas al biodiesel.

Por esta razón, el número de acidez del biodiesel directamente se relaciona al perfil del aceite residual, indicando entonces que al no ser tan elevado en el aceite residual (cuadro 4.3), se obtiene en el biodiesel un rango aceptable (cuadro 4.4), se puede argumentar que además de esto, el cálculo del catalizador necesario para la reacción permitió neutralizar los ácidos grasos libres optimizando de esta manera dicho parámetro; siendo este un indicador de la calidad de la reacción de transesterificación, ya que cuanto menor sea la acidez del biodiesel, más eficaz habrá sido la reacción de transesterificación.

Si la magnitud de este parámetro hubiera sobrepasado lo establecido, podría ocasionar ataque químico a los elementos metálicos del motor, provocando corrosión, oxidación, decapado y ataque a los inyectores (García, Lafargue, Labrada, Díaz, y Sánchez, 2018), de ahí que el resultado Recuperado de 0,296 Mg KOH/g es muy favorable indicando una transesterificación exitosa, eliminando gran parte de los ácidos grasos libres del aceite residual.

Por el contrario, la humedad alta que presentó el aceite residual (cuadro 4.4), influyó a que el contenido de agua y sedimento excediera los rangos, afectando a los demás parámetros analizados, a pesar que se realizó una deshidratación del aceite residual, este no disminuyó; cabe recalcar, que una desventaja del biodiesel es que este es higroscópico y puede absorber hasta 40 veces más agua de esta manera aumentando su contenido de agua, ya sea aportado por el ambiente, al producirlo, su condición de almacenamiento, por lo que se debe considerar ser tratado con precaución para mantener controlado estas condiciones (Avellaneda, 2010).

Refiriéndose a la influencia de materiales extraños, se observó que la corrosión de lámina de cobre y contenido de azufre, están estrechamente relacionados según Knothe (2010) particularmente con las propiedades corrosivas de materiales específicos que contienen azufre, que pueden no ser abordadas por otros análisis de azufre, estas se encontraron entre los rangos establecidos, y se determinó además que el filtro cumplió un papel importante para minimizar las impurezas del aceite residual. La densidad, como se observa mantiene las propiedades de la materia prima, como en este caso su variación fue mínima y

su rango no encuentra dentro de los límites que es de 900 Kg/m^3 y obteniendo $911,4 \text{ Kg/m}^3$.

En cuanto al parámetro de viscosidad los autores Anado y Mora (2006) mencionan que las altas temperaturas de los aceites durante su uso producen una compleja serie de reacciones que resultan en la oxidación y polimerización del mismo, afectando las características del aceite y por ende en la calidad del biodiesel. Produciendo, esta alta viscosidad un inconveniente en la operación en la cámara de combustión de los motores diésel, eventualmente causando depósitos y fenómenos relacionados.

El biodiesel obtenido se vio influenciado tanto por las características físico-químicas del aceite residual, los reactivos utilizados, el proceso y las condiciones en que se realizó. De acuerdo a las características obtenidas por el laboratorio, el tipo de biodiesel es regular; los parámetros que se encuentra dentro de los rangos son de carácter fundamental en la funcionalidad como combustible, este biodiesel no es corrosivo para los motores.

Sin embargo, se puede llegar a mejores resultados en el producto aplicando metodologías más técnicas, un registro de los cambios del aceite desde el momento de su captación hasta posteriores tratamientos y un lavado final del biodiesel. Es por ello que las propiedades en la calidad general del biodiesel dependerán tanto del proceso de fabricación como de la naturaleza de los aceites a partir de los cuales se ha producido (Avellaneda, 2010).

4.3. ANÁLISIS DE COSTO PARA LA PRODUCCIÓN DE BODIESEL A PARTIR DE LOS ACEITES RESIDUALES DE LOS RESTAURANTES DE PORTOVIEJO.

4.3.1. Análisis de costo

Una vez obtenido el biodiesel a partir de los aceites residuales de los restaurantes de Portoviejo se procedió a realizar un análisis de precios unitarios para hallar el valor que representa el proceso de transesterificación, para lo cual se consideró los rendimientos de los equipos mecánicos y mano de

obra que intervendrán en dicho proceso a manera de establecer los precios de operación.

Se aplicó la matriz de precios unitarios (cuadro 4.5) partiendo de la unidad de producción de 1 galón de biodiesel, siendo los costos directos:

- **Equipos.** - Los equipos necesarios para la producción consistieron de un reactor Batch el cual su valor corresponderá al alquiler de ese equipo en un monto de \$2,00 la tarifa por hora. Un medio filtrante, el cual su tarifa corresponderá a los materiales que lo conforman, resultando en \$0,16 por hora; en cuanto al rendimiento de los equipos fueron estimados en función al tiempo de producción para la obtención de un galón de biodiesel resultando en 1,41.
- **Mano de obra.** – Para la mano de obra se refirió el siguiente personal: laboratorista e ingeniero químico, los valores fueron establecidos de acuerdo a Contraloría General del Estado para salarios mínimos por ley 2018 que fijan las remuneraciones básicas, que corresponde a una jornada diaria de 8 horas la cual se deduce como costos hombre-hora.
- **Materiales.** - Se determinaron los precios de los materiales que son necesarios al momento de realizar la producción, en este se describieron los reactivos: hidróxido de sodio Na OH correspondiendo a \$0,004 un gramo y Metanol CHO_3 (OH) con un valor de \$1,50 el litro, los reactivos usados fueron de grado comercial.
- **Transporte.** - El valor de transporte corresponde a los galones de combustibles que fueron necesarios para la recolección de aceite residual siendo este la materia prima para el proceso de transesterificación, en donde el precio del galón de combustible es de \$1,48 y la distancia recorrida de 25Km resultando en un costo de \$1,48.

Cuadro 4.5. Análisis de costo por galón de biodiesel

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
ACTIVIDAD: Producción de Biodiesel			UNIDAD: Galón		
EQUIPOS					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C = A x B	R	D = C x R
Reactor Batch	0,10	2,00	0,20	1,41	0,28
Medio Filtrante	0,20	0,80	0,16	1,41	0,23
SUBTOTAL M					0,51
MANO DE OBRA					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL /HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C = A x B	R	D = C x R
Laboratorista	0,30	2,45	0,74	1,41	1,04
Ingeniero Químico	0,10	3,93	0,39	1,41	0,56
SUBTOTAL N					1,59
MATERIALES					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	COSTO	
		A	B	C = A x B	
Hidróxido de Sodio (Na OH)	g	19,84	0,004	0,08	
Metanol (CHO ₃ (OH))	l	0,90	1,50	1,35	
SUBTOTAL O					1,43
TRANSPORTE					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	DISTANCIA (Km)	CANTIDAD	TARIFA	COSTO
			A	B	C = A x B
Vehículo	gal	25	1	1,48	1,48
SUBTOTAL P					1,48
<i>TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)</i>					5,01
<i>COSTO INDIRECTO (10%)</i>					0,50
<i>COSTO TOTAL:</i>					5,51

Estos precios no incluyen el IVA

Los costos indirectos (cuadro 4.6) corresponden a los insumos que fueron usados derivados del proceso, en donde se identifican el uso de papeles y esferos para realizar anotaciones de los procesos; resultando en un costo de \$0,50 este representa el 10% del costo directo.

Cuadro 4.6. Detalle de los costos indirectos de la producción de biodiesel

Nº	DESCRIPCIÓN	CANT.	P.UNITARIO	TOTAL USD
1	Esfero	1	0,35	0,30
2	Papeles	4	0,05	0,20
Costo total				0,50

Una vez analizados y obtenidos los subtotales de: equipos (M) \$0,51, mano de obra (N) \$1,59, Materiales (O) \$1,43, Transporte (P) \$1,48; sumados con el costo indirecto \$0,50, los costos operacionales de la actividad de producción de biodiesel resulto en \$5,51. Lo cual en comparación con el costo del galón con otros países (Grafico 4.12) el biodiesel en Estado Unidos es de \$3,27 (IICA

,2010), Colombia \$3,00 (Normativa Federación de Biocombustible de Colombia, 2018) que de acuerdo a estos precios resulta un poco elevado, sin embargo, el precio obtenido en la investigación es similar a Alemania en donde el biocombustible posee un valor de \$5,92 (IICA,2010).

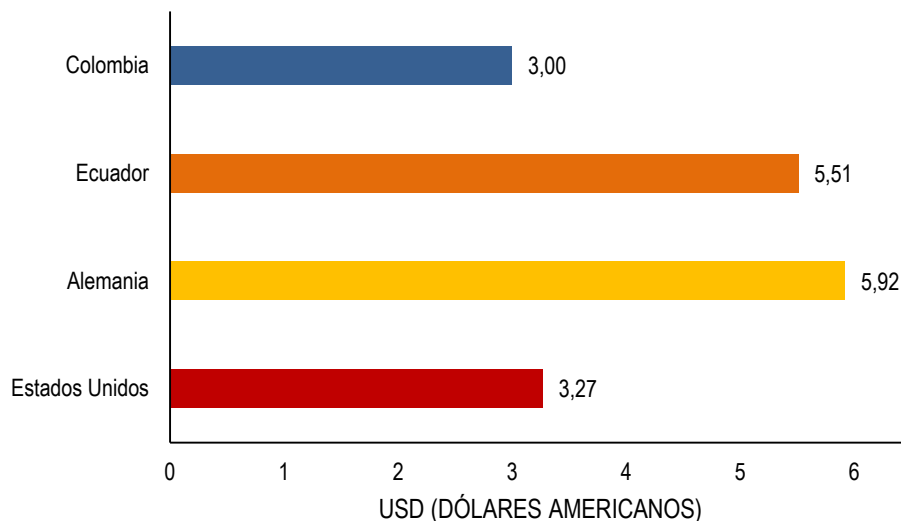


Gráfico 4.12 Comparación por precio de galón por países.

El precio obtenido en la presente investigación de \$5,51 por galón se aproximan a los obtenidos en la investigación de Paredes y Vidal (2017) realizada en Quito-Ecuador resultando en \$5,74. Considerando que el biodiesel de esta investigación corresponde a una calidad regular, se deduce que los costos de producción llevados en la operación, no es factible en el mercado actual en donde el precio de los combustibles se encuentran subsidiados por el estado, pero se debe considerar los beneficios que aporta el biocombustible al medio ambiente ya que este es una solución para aprovechar los residuos de aceite de cocina. Sin embargo, se puede mejorar los rendimientos y la calidad del producto adquiriendo equipos especializados en donde se alcancen mejores resultados y así llegar a ser rentable para su producción en Ecuador.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES.

En los restaurantes de la ciudad de Portoviejo se generan aproximadamente 656 litros de aceites residuales semanales. La muestra presentó un índice de saponificación del 168,14 mg/g, índice de peróxido de 9,72 mEqO₂/kg, densidad de 0,91 g/ml, acidez del 0,42%, punto de fusión 25°C y la humedad en 17%, estos valores se deben al aporte de agua y ácidos grasos que los alimentos liberan al momento de la cocción; demostrando así que el aceite residual como materia prima presenta las propiedades adecuadas para la producción.

Los factores influyentes en las características se deben al manejo que le dan los usuarios, es decir, el tipo de aceite que se emplea el cual en este caso el de mayor porcentaje fue de palma (64,91%), el tiempo de uso el cual es de un día de jornada de trabajo (26,32%), no se realizan mezclas entre los aceites usados y nuevos (91,23%), y el tipo de fritura que más se utilizó fue profunda (42,11%), en cuanto a reutilización que fue de 1 a 4 veces el aceite (34%).

Se determinó que el biodiesel posee una calidad regular según la norma NTE INEN 2482:09, ya que se encontraron dentro de los rangos establecidos los parámetros de contenido de azufre, corrosión lamina cobre y número de acidez, por el contrario, agua y sedimento, viscosidad cinemática, densidad, cenizas y carbón residual sobrepasan los rangos; concluyendo que los valores de la acidez y humedad presentes en el biodiesel están directamente relacionados con estos parámetros de la materia de partida.

El análisis de costo resultó en \$5,51 para la producción de un galón de biodiesel, este valor se consideró en base a los costos directos e indirectos que incidieron en el proceso de obtención del biodiesel.

5.2. RECOMENDACIONES.

Realizar un pre-tratamiento al aceite para la reducción de impurezas y su acidez, aplicando métodos de filtración, siendo una alternativa el filtro de arena y zeolita.

Se recomienda someter el biodiesel a un proceso de lavado y secado para asegurar que el biodiesel cumpla con los estándares de calidad exigidos, pues éste aún contiene impurezas derivadas del proceso.

Se sugiere que, para disminuir la humedad en el biodiesel, los procesos de obtención se deben realizar en equipos herméticos y antes de realizar los análisis de laboratorio, la muestra debe ser sometida al proceso de disecador.

Además, se debe de poner a prueba el biodiesel a manera obtener resultados analíticos por medio de los resultados de laboratorio, se debe recomienda someter el biodiesel a prueba de combustión y así registrar los rendimientos.

BIBLIOGRAFÍA

- Agencia Provincial de la Energía de Cádiz. (2013). *Encuesta sobre la gestión doméstica del Aceite Usado en cocina en la provincia de Cádiz*. Recuperado de <http://www.dipucadiz.es>.
- Alfonso, J. (2013). *Obtención de biodiesel a partir de aceites usados en casa de la comunidad del Refugio*. (Maestría) Centro de Investigación en Materiales Avanzados. México.
- Aliseda, R. (2002). *Estudio de las transesterificación de aceite vegetal con metanol*. (Tesis pregrado) Universidad Rey Juan Carlos. Monótoles, España.
- Anado, E., y Mora, Y. (2006). Análisis de la variación de la viscosidad cinemática de un aceite vegetal en función de la temperatura. *Bistua*, 54-59.
- Aracil, J., Bouaid, A., Vázquez, R., y Martínez, M. (2016). Efecto del contenido de ácidos grasos libres en la calidad del biodiesel. Estudios de plantas piloto. *Fuel*, 174, 54-62. doi:<https://doi.org/10.1016/j.fuel.2016.01.018>
- Arias, D., Teuta, C., y Parra, J. (2011). Caracterización de las propiedades del biodiesel de girasol bajo la Norma NTC de 100/04 y medición de poder calorífico. *AVANCES Investigación en Ingeniería*, 8(2), 73 - 80. Recuperado de http://www.unilibre.edu.co/revistaavances/avances-8-2/r8-2_art9.pdf
- ASTM Internacional. (2009). *ASTM establece las normas para el biodiesel*. Recuperado de <https://www.astem.org>
- Avellaneda, F. (2010). *Producción y caracterización de biodiesel de palma y de aceite reciclado mediante un proceso batch y un proceso continuo con un reactor helicoidal*. (Tesis pregrado). Universitat Rovira I Virgili. Tarragona, España.
- Bengoagorostiza, P. (2012). *Síntesis de biodiesel mediante catálisis ácida heterogénea a partir de mezclas de aceite y ácidos grasos*. (Tesis pregrado) Universidad pública de Navarra . Pamplona, España.
- Benjumea, P., Agudelo, J., y Ríos, L. (2009). *Biodiésel: Producción, calidad y caracterización* (Primera ed.). Medellín, Colombia: Editorial Universidad de Antioquia.
- Bolaños, E. 2012. Muestra y Muestreo. Recuperado de <http://www.uaeh.edu.mx/>
- Bulla. (2014). *Diseño del proceso de producción del biodiesel a partir de aceites de fritura*. (Tesis de grado).Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia.
- Bulla, E., y Guerrero, C. (2014). Producción de biodiésel por etanolisis utilizando aceites de fritura de hoteles y su uso en calderas pirotubulares. *Scielo*(1), 44-53. Recuperado de <http://www.scielo.org.co>

- Burbano, N., y Vargas, M. (2013). *Diseño de las estrategias de recolección de aceite de cocina usado para su reutilización en la producción de biodiesel en cuatro(4) barrios de la ciudad de Cali*. (Tesis pregrado) Universidad Autónoma de Occidente. Santiago de Cali, Colombia.
- Calero, R. (2015). *Comparación de los métodos a.p.u. y costeo abc para el análisis de precios unitarios en la construcción*. Tesis de pregrado. Universidad Católica del Ecuador.
- Calero, W., Chicaiza, E., Chicaiza, W., y Vizúete, D. (2007). *Síntesis y Refinación de biodiesel y glicerina obtenidos a partir de grasa vegetal*. (Tesis pregrado). Universidad Central del Ecuador. Facultad de Ciencias Químicas.
- Castillo, J. (2007). *Paradigma del Costo Total*. (A. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, Ed.) México.
- Castro, M., Beltrán, y Ortiz, J. (2012). Producción de biodiesel y bioetanol: ¿Una alternativa sustentable a la crisis energética?. *Revista RaXimha*, 8(3), 90-101. Recuperado de www.redalyc.org/articulo.oa?id=46125177010
- Constitución de la República del Ecuador. (2008). *Consitución*. Recuperado de <http://www.asambleanacional.gob.ec>
- Díaz, A. (2016). *Programa de Gestión Integral de residuos de aceite vegetal usado (AVU) y grasa animal (GA) generados en el parque recreativo y zoológico piscilago*. (Tesis pregrado) Universidad de Cundinamarca. Colombia.
- Díaz, M., y Guerrero, S. (2018). *Influencia del índice de acidez en el poder calorífico del biodiesel, obtenido a partir de aceites reciclados de cocina*. (Tesis de Pregrado). Universidad Nacional del Santa. Chimbote, Perú.
- Dinis, A. (2012). *Transesterificación de aceites vegetales: nuevos métodos de síntesis*. (Tesis doctoral) Universidad de Extremadura. Extremadura, España.
- Espinoza, C. (2017). *Producción más limpia de biodiesel a partir del aceite usado de cocina*. (Tesis pregrado) Universidad de Guayaquil. Guayaquil, Ecuador.
- Galdames, M. (2003). *Investigación y desarrollo de planta piloto para la producción de biodiesel a partir de aceites y ácidos grasos comestibles*. (F. N. PRODUCTIVO, Ed.) Recuperado de <http://repositoriodigital.corfo.cl>
- Ganduglia, F., León, J., Gasparini, R., Rodríguez, M., Huarte, G., Filgueiras, E. (2009). *Manual de Biocombustibles*. Recuperado de <http://www.fca.proed.unc.edu.ar>

- García, M., Gandón, J., y Maqueira, Y. (2013). Estudio de la obtención de biodiesel a partir de aceite comestible usado Tecnología Química. *Revista Tecnológica de Cuba*, 32(2), 134-138.
- García, S., Lafargue, F., Labrada, B., Díaz, M., y Sánchez, A. (2018). Propiedades fisicoquímicas del aceite y biodiesel producidos de la *Jatropha curcas* L. en la provincia de Manabí, Ecuador. *Revista Cubana de Química*, 30(1), 142-158. Recuperado de <http://scielo.sld.cu/pdf/ind/v30n1/ind12118.pdf>
- González, I., y González, J. (2015). *Aceites de cocina. Problemática Ambiental incidencias en redes de saneamiento y coste del tratamiento en depuradoras*. Recuperado de <https://www.aguasresiduales.info>
- Herrera, J., y Velez, J. (2008). *Caracterización y aprovechamiento del aceite residual de frituras para la obtención de un combustible (Biodiesel)*. (Tesis pregrado) Universidad Tecnológica de Pereira. Pereira, Colombia.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN). (2009). *Biodiesel-Requisitos NTE INEN 2 482:2009*. Recuperado de <http://www.normalizacion.gob.ec>
- Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN). (2012) *NTE INEN 1640:2012 Aceite comestible de palma africana - oleína. Requisitos*. Recuperado de <http://www.normalizacion.gob.ec>
- Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). (2010). *Atlas de la agroenergía y los biocombustible en las América: II Biodiesel*. Recuperado de <http://www.olade.org>
- Juárez, M. (2007). El deterioro de los aceites durante la fritura. *Nutr Comunitaria*, 13(2), 82-94. Recuperado de <http://www.renc.es>
- Knothe, G. (2010). Calidad del combustible biodiésel y la norma astm. *PALMAS*, 31(2), 162-171.
- Lawson, H. (1994). *Aceites y Grasas Alimentarias, Tecnología, utilización y nutrición*. (Primera ed.). Zaragoza, España.
- Lenoir, C. (2014). *Análisis de la producción de biodiesel*. Recuperado de <http://www.ingenieroambiental.com/biodiesel/biodiesel.htm>
- López, L., Bocanegra, J., y Malagón, D. (2015). Obtención de biodiesel por trmsesterificación de aceite de cocina usado. *Ingeniería y Universidad*, 19(1), 155-172. doi:dx.doi.org/10.11144/Javeriana.iyu19-1.sprq
- Luzuriaga, D. (2010). *Estudio sobre la reutilización del aceite vegetal como biolubricante en Guayaquil*. Tesis pregado. Universidad Espíritu Santo. Guayaquil, Ecuador.
- Medina, J., Chávez, N., y Járegui. (2012). Biodiesel, un combustible renovable. *Revista Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*(55), 62-70.

- Medina, M., y Ospino, Y. (2011). *Evaluación de un proceso para obtener biodiesel usando tecnologías combinadas a partir de aceites residuales*. (Tesis de pregrado). Universidad de Cartagena. Cartagena.
- Medina, V., Ospino, R., y Benitez, L. (2015). Esterificación y transesterificación de aceites residuales para obtener biodiesel. *Luna Azul*(40), 25-34.
- Montes, N., Millar, I., Provoste, R., Martínez, N., Fernandez, D., Morales, G., y Valenzuela, R. (2016). Absorción de aceite en alimentos fritos. *Revista chilena de nutrición (Rev. chil. nutr.)*, 43(1), 87-91. doi:<http://dx.doi.org/10.4067/S0717-75182016000100013>
- Murcia, B., Chaves, L., Rodriguez, W., Andredy, M., y Alvarado, E. (2013). Caracterización de biodiesel obtenido de aceite residual de cacina. *Revista Colombiana de Biotecnología*(1), 61-70. Recuperado de <http://www.redalyc.org>
- Naranjo, C. (2014). *Aprovechamiento de los aceites comestibles residuales provenientes de los restaurantes y comedores de la ciudad de Maturín transformandolos en biodiesel*. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Abierta Area. Venezuela.
- Normativa Federación de Biocombustible de Colombia (2018). *Normativa de la agroindustria de biocombustible*. Recuperado de [www.fedebiocombustibles.com /main-pagina-id-2-titulo-normatividad.htm](http://www.fedebiocombustibles.com/main-pagina-id-2-titulo-normatividad.htm)
- Organizacion de Consumidores y Usuarios (OCU). (2017). Influencia de Organización de Consumidores . Recuperado de www.ocu.org
- Ortega, A., Angulo, E., y Coardozo, B. (2014). Trasesterificación de aceites vegetales empleando catalizadores heterogéneos. *Pospect*, 12(2), 93.
- Paredes, J. y Vidal, M. (2017). *Diseño y construcción de una planta de producción de Biodiesel a partir de aceite vegetal reciclado*. (Tesis de pregrado). Universidad San Francisco de Quito.
- Pineda, C., y Guerra, J. (2011). Aprovechamiento de los residuos grasos generados en los restantes y comidas de Pereira. *Scientia et Technica*, 16(47), 264.
- Pisarello, L. (2011). Producción de biodiesel: equilibrio fisicoquímico y cinética de esterificación y transesterificación con diferentes. (*Doctor en Ingeniería Química*). Universidad Nacional del Litoral ,. (F. D. Universidad nacional del litoral, Ed.) Argentina.
- Rivera, Y., Gutiérrez, C., Gómez, R., Matute, M., y Izaguirre, C. (2014). Cuantificación del deterioro de aceites vegetales usados en procesos de frituras en establecimientos ubicados en el Municipio Libertador del Estado Mérida. *Revista Ciencia e Ingeniería*, 35(3), 157-164. Recuperado de <http://erevistas.saber.ula.ve>
- Sharma Y. C., Singh B. y Upadhyay S. (2008). Avances en el desarrollo y caracterización del biodiesel. *Fuel* 87, 2355-2373. doi:10.1016/j.fuel.2008.01.014.

- Suaterna, A. C. (2009). La fritura de los alimentos: el aceite de fritura. *Perspectivas en nutrición humana (Perspect Nutr Humana)*, 11(1), 39-53. Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/penh/v11n1/v11n1a4.pdf>
- Tacias, V., Quintero, A., y Terrestiana, B. (2016). Evaluación y caracterización de grasa y aceites residuales de cocina para la producción de biodiésel: un caso de estudio . *Revista Internacional de Contaminación*, 32(3), 304-305.
- Tejada, C., Tejada, L., Villaboa, A., y Monroy, L. (2013). Obtención de biodiesel a partir de diferentes tipos e grasa residual de origen animal. *Luna Azul*(36), 10-25.
- Villegas, I. (2014). *Aprovechamiento de aceites vegetales usados (AVUS)*. Recuperado de <http://dspace.uces.edu.ar>
- Yagüe, M. (2003). *Estudio de utilización de aceites para fritura en establecimientos alimentarios de comidas preparadas*. Recuperado de <http://magno.uab.es>
- Yagüe, M., y Rodríguez, J. (2012). *El proceso de fritura en los alimentos. Consumer, EROSKI*. Recuperado de <http://www.consumer.es/seguridad-alimentaria/ciencia-y-tecnologia/2005/11/16/21156.php>
- Zambrano, J. (2013). *Eficiencia de zeolita - arena en la extracción de impurezas en los aceites vegetales usados*. (Tesis de postgrado). ESPAM MFL. Calceta, Ecuador.
- Zuleta, E., Bonet, J., Díaz, L., y Bastidas, M. (2016). Optimización del proceso de obtención de biodiesel a partir de aceite de palma y etanol, mediante el método de superficie de respuesta. *Research Gate*, 75-80. Recuperado de www.researchGate.net

ANEXOS

Anexo 1. Encuesta



Nombre del Restaurante: _____ Parroquia: _____

Coordenadas: X : _____ Y: _____

G) Tipos de frituras

1. ¿Qué tipo de aceites se consumen en el establecimiento?

- | | | | |
|--------------------------|------------------------|--------------------------|--------------------------------------|
| <input type="checkbox"/> | Aceite Oliva o girasol | <input type="checkbox"/> | Otros _____ |
| <input type="checkbox"/> | Aceite de palma | | <i>En el caso que sea Grasa,</i> |
| <input type="checkbox"/> | Aceite de Soya | | <i>detener la encuesta. Gracias!</i> |

2. ¿Qué cantidad de aceite (lt) se consume semanalmente en el establecimiento?

3. ¿Cuánto tiempo en promedio duran los aceites desde que son vírgenes hasta que se consideran inútiles para el restaurante?

- | | | | | | |
|--------------------------|------------------|--------------------------|--------|--------------------------|-------------|
| <input type="checkbox"/> | Instante | <input type="checkbox"/> | 1 día | <input type="checkbox"/> | 4 días |
| <input type="checkbox"/> | 1 a 6 horas | <input type="checkbox"/> | 2 días | <input type="checkbox"/> | 5 días |
| <input type="checkbox"/> | Medio día (12 h) | <input type="checkbox"/> | 3 días | <input type="checkbox"/> | Otros _____ |

4. ¿Realizan mezclas entre aceites nuevos y usados para freír?

Si _____ No _____

5. ¿Qué tipo de frito cocina con más frecuencia?

- | | |
|--------------------------|--|
| <input type="checkbox"/> | Fritura profunda - sumergiendo el alimento. (Ej. Patatas fritas, croquetas, empanadillas,) |
| <input type="checkbox"/> | Fritura superficial – el alimento se sumerge parcialmente (Ej. Filetes, pescado, etc.) |
| <input type="checkbox"/> | Otros _____ |

6. ¿Reutiliza el aceite? Ej. ¿Usa el mismo aceite para freír más de una vez?

Si _____ NO _____

Cuantas veces: _____

7. ¿Posee el establecimiento alguna política o criterio para el desecho de los aceites usados?

Si _____ NO _____

De ser si, mencionela: _____

8. ¿Cuenta con trampa de grasa?

Si _____ NO _____

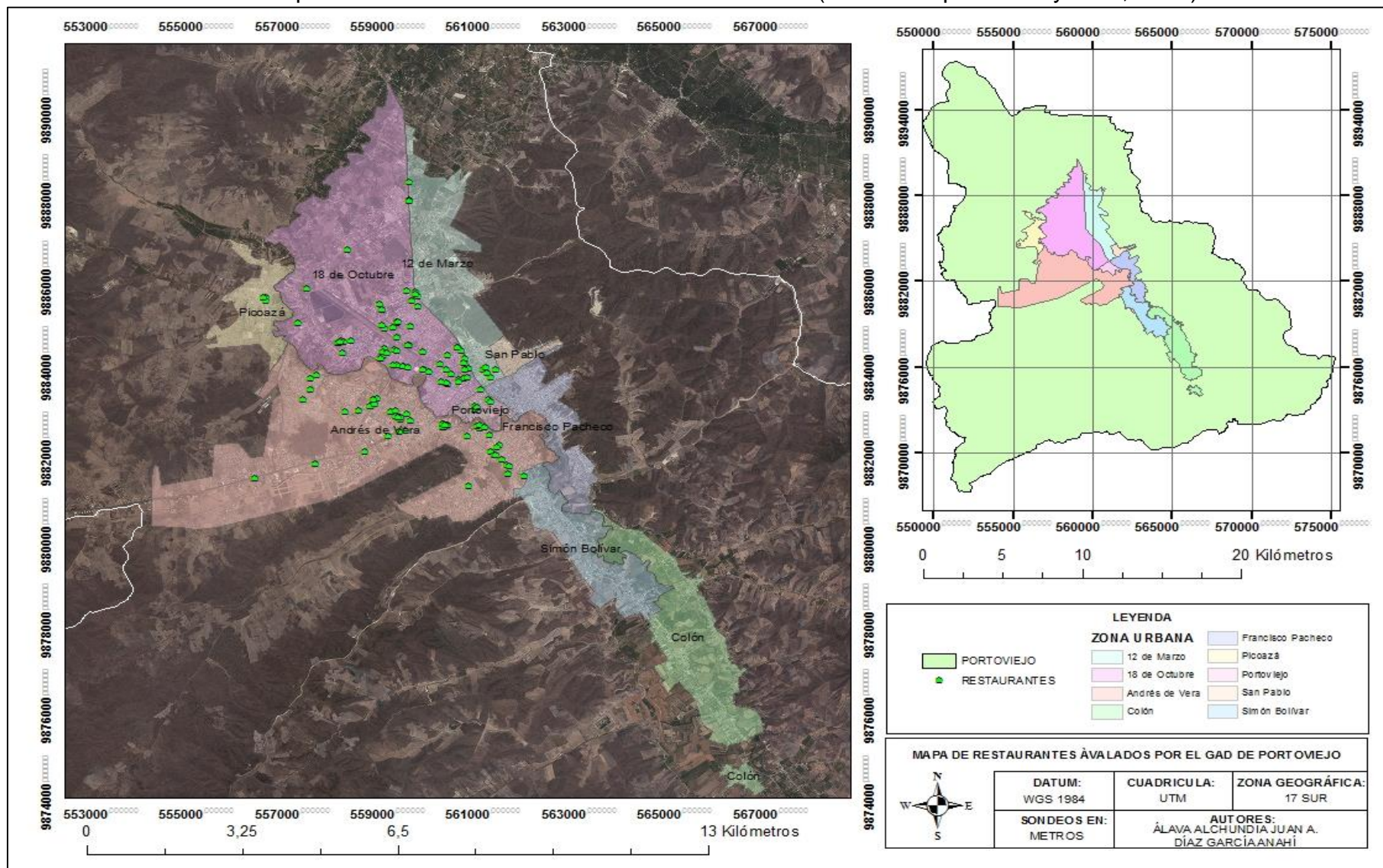
9. ¿Cuál es la disposición final del aceite usado?

- | | |
|--------------------------|--|
| <input type="checkbox"/> | Arrojarlo en la basura con los otros residuos |
| <input type="checkbox"/> | Depositarlo en un recipiente el aceite usado y lo entrego alguna entidad |
| <input type="checkbox"/> | Verterlo por el lava platos |
| <input type="checkbox"/> | Otros _____ |

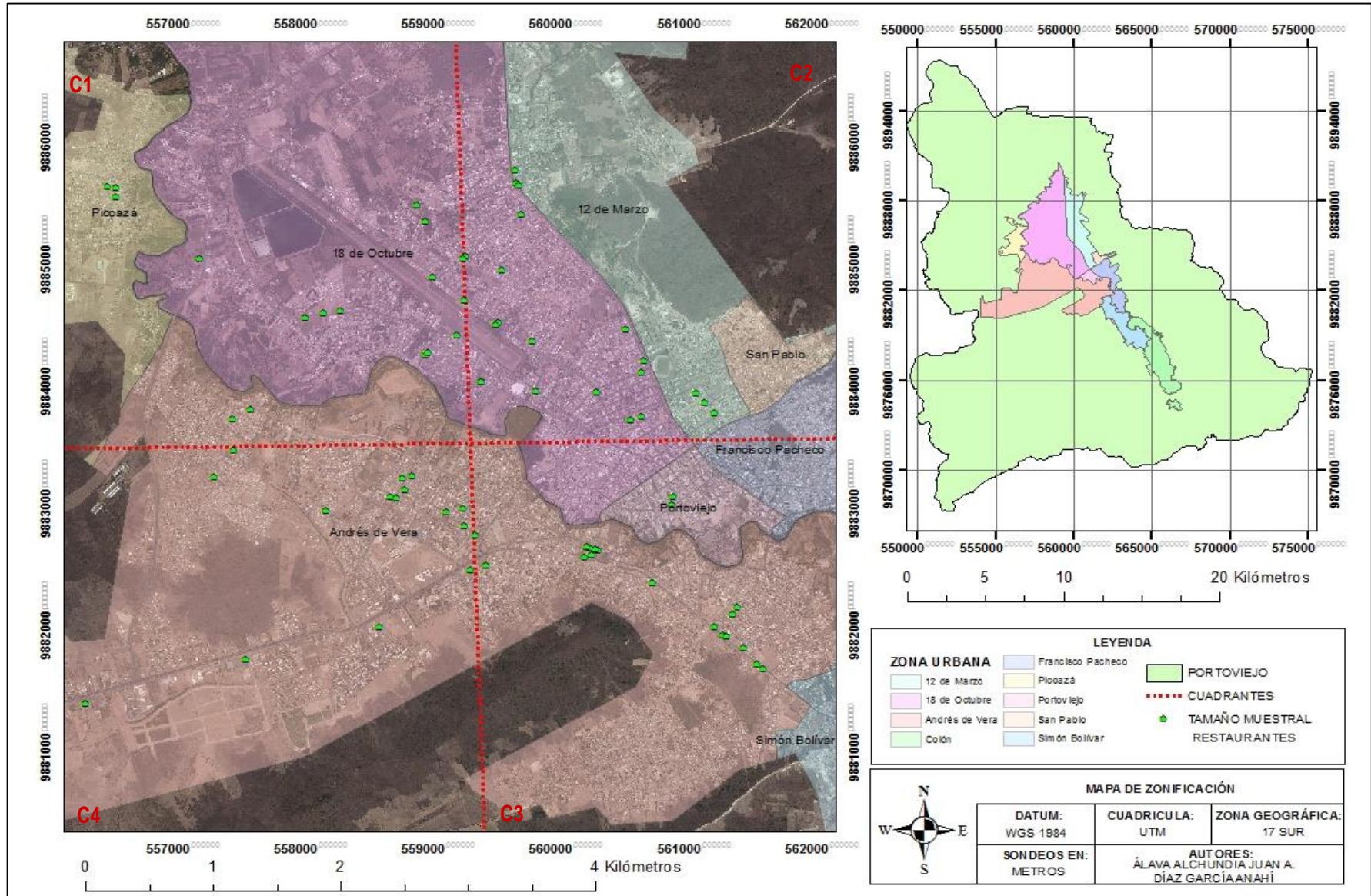
10. ¿Existe un sistema de recogida de aceite usado en la zona donde usted labora?

Si _____ NO _____

Anexo 2. Mapa de ubicación geográfica de los restaurantes Avalados por el GAD de Portoviejo.
 Fuente: Datos de patentes de restaurantes 2016-2017 del GAD – (Elaborado por Álava y Díaz, 2018).



Anexo 3. Mapa de Zonificación ubicación geográfica de los restaurantes encuestados y recolección de aceites -(Elaborado por Álava y Díaz, 2018).



Anexo 4. Aplicación de la encuesta



Anexo 5. Recolección y mezcla compuesta de aceites residuales en los restaurantes






Anexo 6. Pre tratamiento de los aceites residuales



Anexo 7. Obtención del Biodiesel




Anexo 8. Resultados de los análisis de la muestra de aceite residual



LABORATORIOS
ave

Garantizamos su confianza.

"Laboratorio de ensayo acreditado por el SAE con acreditación
N° OAE LE 1C 05-004"



INFORME DE ENSAYOS

Fecha de Informe:	16/08/2018	Orden:	4819	Informe:	4391-18	Página:	1/2
-------------------	------------	--------	------	----------	---------	---------	-----

INFORMACION DEL CLIENTE:

Nombre: DIAZ GARCIA ANAHI
 Dirección: PORTOVIEJO
 Teléfono: 0997431565 Fax: -- E. Mail: --

DATOS DE LA MUESTRA:

Tipo de Muestra: Grasas y Aceites Comestibles
 Nombre: ACEITE DE COCINA USADO
 Descripción: Aceite

Lote: --	Fecha de Elab. --	Fecha de Exp. --
Contenido Declarado: --	Cantidad Recibida: 1 de 400 ml	Condición: Normales, Envase plástico
		Forma de conservación: Ambiente
Fecha de Recepción: 08/08/2018	Cód. de Laboratorio: GA-C-123-08-08-18	Muestreo: Realizado por el cliente

RESULTADOS

ANÁLISIS QUÍMICOS

Fecha de Análisis	09/08/2018	Página R 3B-5.10:	19061
Condiciones ambientales:		Temperatura:	22°C - 33°C
		Humedad Relativa:	24% - 62%

Parámetros	Unidad	Resultados	Incertidumbre	**Requisitos	Método de Referencia
Acidez exp. Ac. Oléico	g/100g	0,42	± 0,02	Max 3	AOAC 20th 940.28
Densidad**	g/ml	0,9143	--	--	AOAC 20th 920.212
Humedad	g/100g	0,17	± 0,003	--	AOAC 20th 926.12
Índice de Peróxido	mEqO ₂ /kg	9,76	± 0,49	--	AOAC 20th 965.33
Índice de saponificación**	mg/g	168,14	--	--	AOAC 20th 920.160
Punto de Fusión**	--	25°C	--	--	AOAC 20th 920.157

Los ensayos marcados con (*) no están incluidos en el alcance de la acreditación del SAE
 (*) Este parámetro no se encuentra dentro del alcance de acreditación A2LA
 **Requisitos Químicos establecidos según Norma NTE INEN 2678:2013 - 04 para Grasas y Aceites comestibles reutilizados.


REV 08/09-11

Datos de Contacto:
 Dirección Laboratorio Matriz: Parque Industrial California 1, Calle Arq. Modesto Luque Rivadeneira,
 Edificio Comercial 3 Local 4 A Km.11 ½ vía a Daule.
 PBX. Matriz: (5934) 2103206. Teléfonos Parque California 1: 2103017 / 2103026 ext. 235 Cel.: 0998078518

Dirección Laboratorio de Microbiología: Parque Industrial California 2, Bodega D44
 Km.11 ½ vía a Daule.
 Teléfono: (5934) 2 103365 ext. 101. Teléfonos Parque California 2: 2 103199 ext. 443

E-mail: margot.aviles@laboratoriosave.com
 colzaciones.compras@laboratoriosave.com
 paula.aviles@laboratoriosave.com
 lorena.aviles@laboratoriosave.com

www.laboratoriosave.com

 Laboratorios AVE

R02-5.10 Rev.02 29/06/18

OBSERVACIONES

Se podrán realizar modificaciones a este documento, hasta 6 meses después de su emisión, las mismas que deberán ser respaldadas, por un requerimiento de las autoridades de salud o por un sustento técnico válido, de acuerdo al criterio del laboratorio.

Estos resultados corresponden exclusivamente a la muestra analizada.

La contra muestra se almacena en el laboratorio por 1 mes

Prohibida su reproducción total o parcial, sin previa autorización de LABORATORIOS AVVE S.A.

Las observaciones y opiniones no se encuentran dentro del Alcance de Acreditación

Los registros generados por el análisis de la(s) muestra(s) son mantenidas en los archivos del laboratorio por 5 años

Válido solo el Informe Original

Incertidumbre: * La estimación de la incertidumbre expandida reportada está basada en una incertidumbre típica multiplicada por un factor de cobertura $K = 2$, proporcionando un nivel de confianza de aproximadamente 95 %, de acuerdo con los requisitos de la Norma ISO/IEC 17025



Dra. Margot Vélez de Avilés
Gerente Técnico & Calidad




Datos de Contacto:
Dirección Laboratorio Matriz: Parque Industrial California 1, Calle Arq. Modesto Luque Rivadeneira,
Edificio Comercial 3 Local 4 A Km. 11 1/2 vía a Daule.
PBX Matriz: (5934) 2103206. Teléfonos Parque California 1: 2103017 / 2103026 ext. 255 Cal.: 0998078518

Dirección Laboratorio de Microbiología: Parque Industrial California 2, Bodega D44
Km. 11 1/2 vía a Daule.
Teléfono: (5934) 2 103365 ext. 101. Teléfonos Parque California 2: 2 103199 ext. 443

E-mail: margot.aviles@laboratoriosavve.com
cotizaciones.compras@laboratoriosavve.com
paula.aviles@laboratoriosavve.com
lorena.aviles@laboratoriosavve.com

www.laboratoriosavve.com

 Laboratorios AVVE

Anexo 9. Resultados de los análisis de laboratorio de la muestra de biodiesel.



Laboratorio de Espectrometría LESPEC - ESPOL

INFORME DE ANÁLISIS

Informe de Análisis N°: **117-2018**
 Cliente: **ANAHÍ DÍAZ GARCÍA**
 Solicitado por: Anahí Díaz G.
 Dirección: Portoviejo, Cdl. Las Piedras y Av. 5 de Junio
 Fecha de recepción de muestra(s): 2018-09-28
 Fecha de inicio de ensayo: 2018-09-28 Fecha de finalización de ensayo: 2018-10-15
 Analizado por: Ing. Tyrone Alcívar R.
 Fecha de emisión del informe: 2018-17-16

Parámetro	Unidad	Resultados	Método de Análisis
Agua y sedimentos	(%) _v	0.30	INEN 1494
Carbón residual	(%) _p	0.55	INEN 1495
Corrosión a lámina de cobre	N°	1B	INEN 927
Densidad a 15°C	Kg/m ³	0.9114	ASTM D1298
Número de Acidez	mg KOH/g	0.296	ASTM D664
Viscosidad cinemática a 40°C	cSt	17.23	INEN 810
Contenido total de Azufre	% m/m	0.0332	ASTM D4294
Punto de Humo*	mm	17.0	ASTM D1322
Cenizas*	(%) _p	0.57	INEN 1492

Muestra entregada e ingresada por el cliente como:

“MUESTRA DE BIODIÉSEL”

Observaciones: Humedad / Temperatura promedio del Laboratorio: 62% / 25°C
 * = Parámetros a cambio de Destilación al 90%, Índice de Cetano y Punto de Inflamación que no se han podido determinar por la excesiva cantidad de agua de la muestra.

Nota aclaratoria: Estos ensayos **NO** forman parte del alcance de la acreditación del SAE.

Dra. Olga González Sánchez

Directora de Laboratorio

LCC/.

Notas: El informe original es válido solo con el sello seco de seguridad de alto relieve ubicado en la parte inferior derecha de la hoja y no debe ser reproducido de forma parcial o total, excepto por su emisor como copia autorizada.

Las incertidumbres calculadas están a disposición del cliente

Los resultados obtenidos corresponden solo a la muestra analizada.

Las cifras luego del punto (.) deben ser consideradas como decimales.

Las cifras luego de la coma (,) deben ser consideradas como enteros.

Ecuador – Guayaquil, Campus Gustavo Galindo, km 30.5 vía Perimetral, Código Postal 090903 Teléfonos: 2269559 – 2269564

LESPEC-MC2306-00