



**CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN
MATERIALES AVANZADOS, S. C.**

POSGRADO

**Obtención de biodiesel a partir de
aceites usados en casa habitación de
la comunidad del Refugio.**

**Tesis que como requisito para obtener el grado de
Maestría en Ciencias en Energías Renovables con
Especialidad en Biomasa**

Presenta:

Juan Antonio Alfonso Alvarez

**Dr. Guillermo González Sánchez
Director de tesis**

Chihuahua, Chih., Junio, 2013

AGRADECIMIENTOS

A dios porque sé que siempre está presente en todas mis metas cumplidas y en particular a mis padres y hermanos que siempre están con migo en los buenos y malos momentos de mi vida.

A la Universidad Tecnológica de Tijuana, por brindarme todas las facilidades necesarias para la elaboración del proyecto y en especial a la carrera de Química Área Tecnología Ambiental y Energías Renovables.

A los alumnos de estadías Jurado Perojo Cinthia, López Nebuay María del Rosario y Ayde Morales por su apoyo en la elaboración de este proyecto.

A mi asesor de tesis Dr. Guillermo Gonzalez Sanchez por todos sus consejos, correcciones y apoyo en la gestión de acervo bibliográfico.
A mis compañeros de trabajo por su apoyo incondicional.

Obtención de biodiesel a partir de aceites usados en casa habitación de la comunidad del Refugio

ÍNDICE

RESUMEN	viii
I INTRODUCCIÓN	9
II ANTECEDENTES	11
2.1 Energías renovables o no convencionales.....	11
2.1.1 Energía solar	11
2.1.2 Energía Eólica	12
2.1.3 Energía Hidráulica	12
2.1.4 Energía Geotérmica.....	12
2.1.5 Bioenergía	12
2.2 Biocarburantes	13
2.2.1 Bioetanol	14
2.2.2 Biodiesel	14
2.3 Uso de biodiesel en motores de combustión interna	17
2.4 Métodos utilizados para la producción de biodiésel	17
2.4.1 Tranesterificación.....	18
2.5 Efecto de diferentes parámetros en la producción de biodiesel	22
2.5.1 Efecto de la relación molar.....	22
2.5.2 Efecto de la humedad sobre el rendimiento del biodiesel	23
2.5.3 Efecto de los ácidos grasos libres (AGL)	23
2.5.4 Efecto de la temperatura	24
2.5.5 Efecto de la agitación.	24
2.5.6 Tiempo de reacción.....	24
2.5.7 Cantidad de catalizador.....	25
2.6 Calidad del biodiesel	25
2.7 Caracterización de los parámetros más importantes del biodiesel.....	27

Obtención de biodiesel a partir de aceites usados en casa habitación de la comunidad del Refugio

2.7.1 Densidad.....	27
2.7.2 Poder calorífico	27
2.7.3 Viscosidad.....	27
2.7.4 Curva de destilación	28
2.7.5 Índice de cetano calculado.....	28
2.7.6 Punto de inflamación a copa cerrada	28
2.7.7 índice de acidez	29
2.7.8 Glicerina libre	29
2.7.9 Punto de Nube	29
2.8 Obtención de biodiesel a partir de aceites usados de cocina	29
2.8.1 Pretratamiento	30
2.8.2 Filtrado	30
2.8.3 Desgomado.....	30
2.8.5 Transesterificación	31
2.8.6 Separación de fases.....	31
2.8.7 Recuperación de Metanol y lavado del biodiésel	31
2.8.8 Secado	32
2.9 Beneficios ambientales de la producción de biodiesel	32
III JUSTIFICACION.....	34
3.1 Preguntas a resolver.....	35
IV HIPÓTESIS.....	35
V OBJETIVOS.....	36
5.2 Objetivo general.....	36
5.3 Objetivos específicos.....	36
VI METODOLOGÍA	37

Obtención de biodiesel a partir de aceites usados en casa habitación de la comunidad del Refugio

6.1 Establecimiento del programa de recolección de aceites usados	37
6.1.1 Recolección de aceite.....	40
6.2 Caracterización de la Biomasa residual (aceite usado).....	40
6.2.1 Pre-tratamiento a la materia prima.....	40
6.2.2 Caracterización del aceite	42
6.3 Obtención de Biodiesel	51
6.5 Purificación del Biodiesel	51
VII RESULTADOS	54
7.1 Análisis de la encuesta realizada.....	54
7.2 Plan de recolección	58
7.3 Pretratamiento.....	59
7.4 Caracterización del aceite	59
7.5 Obtención de biodiesel	62
7.5.1 Diseño experimental	62
7.5.2 Análisis de costos	66
7.5.3 Metodología sugerida para la producción de biodiesel.....	67
VIII CONCLUSIONES	70
8.1 conclusiones	70
IX RECOMENDACIONES	72
X BIBLIOGRAFIA.....	73
ANEXOS	76

Índice de ilustraciones

Ilustración 1 Ecuación general de la reacción de transesterificación	18
Ilustración 2 Ecuación general para la etanolisis de triglicéridos	19

Obtención de biodiesel a partir de aceites usados en casa habitación de la comunidad del Refugio

Ilustración 3 Mecanismo de reacción	19
Ilustración 4 Efecto de los AGL en el rendimiento de la reacción de transesterificación catalizada por una base.....	23
Ilustración 5 Proceso de producción de biodiesel a partir de aceites usados	30
Ilustración 6 Cronograma de actividades.....	37
Ilustración 7 Población del Refugio.....	38
Ilustración 8 Mapa de identificación de la zona elegida	38
Ilustración 9 Población estratificada	39
Ilustración 10 Filtrado del aceite.....	41
Ilustración 11 Separación agua - aceite	41
Ilustración 12 Determinación de humedad	43
Ilustración 13 Sin presencia de jabón	44
Ilustración 14 Determinación de ácidos grasos libres (método volumétrico)	45
Ilustración 15 Determinación de densidad	47
Ilustración 16 Reacción de saponificación	49
Ilustración 17 Determinación del índice de saponificación	49
Ilustración 18 Separación de fases.....	52
Ilustración 19 Lavado de Biodiesel.....	52
Ilustración 20 Filtrado de Biodiesel.....	53
Ilustración 21 Mapa con ubicación casas-habitación plan piloto	58
Ilustración 22 Reactor para transesterificación	62
Ilustración 23 Molécula de Trioleína	63
Ilustración 24 Proceso de producción de Biodiesel	68

Índice de tablas

Tabla 1 Principales materias primas para la elaboración de biodiesel	15
Tabla 2 Lista de autores y sus reportes de relación molar.....	22
Tabla 3 Lista de parámetros para determinar la calidad del biodiesel	26
Tabla 4 Parámetros determinados del aceite	42
Tabla 5 Resultados de la prueba de humedad.....	43
Tabla 6 Mililitros gastados de NaOH	45
Tabla 7 Datos obtenidos para determinar densidad relativa	48
Tabla 8 Datos de la prueba de índice de saponificación	50
Tabla 9 Condiciones experimentales	51
Tabla 10 Resultado de la caracterización de aceite	60
Tabla 11 Obtención de biodiesel con NaOH	65
Tabla 12 Obtención de Biodiesel con KOH.....	65
Tabla 14 Costos de insumos y reactivos en la producción de Biodiesel	67

Índice de gráfica

Gráfica 1 Aceites consumidos por la población	54
Gráfica 2 Responsables de la cocina	55
Gráfica 3 Reutilización de aceite	55
Gráfica 4 Disposición final de aceite usado.....	56
Gráfica 5 Donación de aceite usado.....	56
Gráfica 6 Uso de contenedores.....	57
Gráfica 7 Apreciación de la población sobre el medio más contaminado	57
Gráfica 8 Conocimiento y beneficios del Biodiesel	58
Gráfica 9 Cantidad de aceite lavado.....	59
Gráfica 10 Comparación de rendimientos con diferente catalizador	66

RESUMEN

Este trabajo de investigación está enfocado a realizar un estudio del potencial de biomasa residual (aceite usado) que puede generar la comunidad del Refugio, establecida en el municipio de Tijuana Baja California. También se realizaron pruebas para determinar si la biomasa residual puede ser utilizada para la producción de biodiesel, mediante técnicas que permitan una producción sustentable.

En primer lugar se estableció un plan de recolección piloto de aceite usado mediante la selección de 50 casas considerando los resultados obtenidos por la encuesta aplicada. Con este plan se determinó que se pueden recolectar 146 litros en promedio de aceite a la semana por la comunidad y se considera que dando a conocer el proyecto y sus beneficios puede aumentar considerablemente la cantidad de aceite recolectado. Posteriormente se realizó el pre-tratamiento al aceite para eliminar sólidos suspendidos y gomas que influyen el proceso de producción de biodiesel.

Al aceite limpio y seco se le realizó la caracterización de propiedades físicas y químicas para determinar si era posible utilizarlo para la producción de biodiesel, todos los parámetros determinados son similares a los reportados por otros autores. El índice de acidez se encuentra por debajo del 2% por lo que la producción de biodiesel sólo se realizó por catálisis básica con NaOH y KOH en una relación molar alcohol/aceite 6:1, una concentración de catalizador del 1% con respecto al aceite y un rango de temperatura de 30 a 60°C, encontrando que a una temperatura de 60°C y KOH como catalizador se obtienen rendimientos superiores al 90%.

I INTRODUCCIÓN

La importancia de los bioenergéticos (combustibles obtenidos a partir de biomasa como: aceites vegetales, grasa animal, residuos agrícolas y aceites usados) se debe principalmente al agotamiento del oro negro ó petróleo en un futuro no muy lejano, ya que es un recurso no renovable. El petróleo es destilado y aprovechado al máximo para obtener algunos derivados y combustibles como la gasolina, diesel entre otros.

El uso de combustibles fósiles genera una gran cantidad de emisiones de gases de efecto invernadero (CO_2 y CO) hacia la atmosfera, además de producir óxidos de nitrógeno (NO_x) y óxidos de azufre (SO_x) como resultado de la combustión. La extracción de los combustibles fósiles también provoca derrames de petróleo y combustibles en el mar abierto causando un impacto negativo al medio ambiente. Por estas razones la obtención de combustibles alternativos ha recobrado un interés económico, social y ambiental a nivel mundial, mediante la búsqueda de técnicas sustentables que permitan la obtención de biocombustibles a bajo costo y con parámetros de calidad aceptables por la comunidad mundial.

Debido a la búsqueda de estas técnicas surge este proyecto de investigación por la necesidad existente de buscar alternativas energéticas capaces de sustituir o minimizar el consumo de combustibles fósiles, como consecuencia de la escasez de este tipo de combustibles. Otra de las razones para realizar este proyecto se debe a que los combustibles fósiles generan una gran cantidad de contaminantes atmosféricos, causantes del cambio climático y lluvia acida. Y es por esta razón que se buscan combustibles alternativos como el biodiesel obtenido a partir de aceites usados. Asimismo, tienen un impacto económico positivo, dando independencia energética y mejorando la competitividad. En lo ambiental, contribuyen a la reduciendo la contaminación atmosférica, generando subproductos reutilizables y biodegradables. En lo social, ayudan al crecimiento y diversificación de la economía rural y calidad de vida.

La importancia de producir biodiesel radica en la reducción de las emisiones generadas por la combustión. Con este procedimiento, se tienen reducciones netas de CO₂ del 100%, además de reducciones de SOx cercanas al 100% debido a la ausencia de azufre en el biodiesel, de hollín entre 40-60%; de CO entre 10-50%; de HC entre 10-50%; y de aldehídos y compuestos poliaromáticos en torno a 13%.

II ANTECEDENTES

2.1 Energías renovables o no convencionales

Las fuentes de energía renovables son aquellas que no provienen de fósiles como lo son: la energía del viento, la energía que se encuentra debajo de la superficie de la tierra (geotérmica) y la contenida en el agua (hidrotérmica), la energía de los océanos, la hidráulica, la biomasa. También se incluyen los gases producidos en rellenos sanitarios y plantas de tratamiento de aguas residuales (Rincón & César, 2010).

A continuación se describe de forma breve las energías renovables más utilizadas:

2.1.1 Energía solar

La energía solar se refiere al aprovechamiento de la energía radiante del sol, mediante la utilización de tecnologías como:

- Fotovoltaica, este tipo de tecnología convierten la energía solar en energía eléctrica por medio de celdas fotoeléctricas, hechas principalmente de silicio que reacciona con la luz.
- Termosolar, se utiliza para el calentamiento de fluidos a partir de la energía solar, mediante el uso de colectores solares, que alcanzan temperaturas de 40 a 100 °C (planos), o concentradores con los que se obtienen temperaturas de hasta 500 °C (SENER, 2006).

2.1.2 Energía Eólica

En este tipo de tecnología se aprovecha la energía cinética del viento para producir energía eléctrica mediante el uso de turbinas. En 1997 la turbina promedio era de 600 a 750 kW. Para el 2005 ya existen en el mercado a nivel comercial turbinas con capacidades entre 2 y 3 MW, así como prototipos de hasta 6 MW.

2.1.3 Energía Hidráulica

La energía hidráulica se refiere a aquella energía que se obtiene como consecuencia de las caídas de agua, mediante la cual se mueve una turbina para generar energía eléctrica. Las centrales mini hidráulicas (<5 MW) se clasifican, según la caída de agua que aprovechan, en baja carga (caída de 5 a 20m), media carga (caída de 20 a 100m) y alta carga (caída mayor a 100 m). Además de la carga, se clasifican en función del embalse y del tipo de turbina que utilizan (SENER, 2006)

2.1.4 Energía Geotérmica

La energía geotérmica constituye la energía derivada del calor que se extrae a través de los fluidos geotérmicos que surgen de procesos naturales o artificiales de acumulación y calentamiento del subsuelo. Las fuentes geotérmicas, según sus características y magnitud calórica, pueden ser aprovechadas no solamente para generar electricidad (alta entalpía) sino para usos directos del calor (Coviello, 1998).

2.1.5 Bioenergía

Este tipo de energía utiliza la biomasa (materia orgánica) como energético, ya sea por combustión directa o mediante su conversión en combustibles gaseosos como el biogás o líquidos como bioetanol o biodiesel.

Una de las energías no convencionales que ha tenido un mayor impulso, debido al impacto positivo que tiene sobre el medio ambiente, la seguridad y el suministro energético es la biomasa, aunque la energía eólica presentará el mayor crecimiento en el periodo 2007 a 2030 (SENER, 2006).

2.2 Biocarburantes

Son biocombustibles líquidos obtenidos a partir de biomasa que se encuentran en estado líquido en condiciones normales de presión y temperatura. Se emplean en calderas para la producción de calor y electricidad o en motores de combustión interna, en cuyo caso se denominan biocarburantes. Los biocarburante engloban a todos aquellos combustibles líquidos derivados de la biomasa que tienen características parecidas a gasolinas y gasóleos, lo que permite su utilización en motores convencionales sin tener que efectuar modificaciones importantes.

Los biocarburantes incluyen una gran variedad de productos, aunque algunos todavía se encuentran en etapa experimental, mientras que otros se comercializan desde hace décadas denominados de primera generación como el bioetanol obtenido de materias primas azucaradas o amiláceas y el biodiesel obtenido a partir de semillas oleaginosas. Mientras que los de "segunda generación", son derivados de plantas o de residuos vegetales que no entran en competencia directa con las utilidades alimentarias (Ballesteros, 2008)

Para que combustible se considere como alternativo debe ser técnicamente factible, económicamente competitivo, ambientalmente aceptable, y fácilmente disponible. Una posible alternativa a los combustibles fósiles es el uso de aceites de origen vegetal, grasas animales, aceites usados y semillas de árboles para su conversión en biodiesel. Este combustible es biodegradable y no tóxico y tiene un perfil bajo de emisiones en comparación con el diesel de petróleo. El uso de biodiesel permitirá un equilibrio que debe buscarse entre la agricultura, el desarrollo económico y el medio ambiente (S.N. Naik, 2006).

2.2.1 Bioetanol

El bioetanol generalmente es obtenido a partir de semillas ricas en azúcares mediante fermentación. Este bioenergético se puede obtener a partir de cuatro grandes grupos de materias primas, según la facilidad de fermentación en el proceso productivo del biocarburante:

- Alcohol vínico, procedente de la industria vitivinícola.
- Plantas ricas en azúcares: caña de azúcar, remolacha azucarera, sorgo azucarero (*sorghum Bicolor L*), pataca (*Helianthus Tuberosus*).
- Cereales: cebada, trigo y maíz.
- Material lignocelulósico: hierba, madera y celulosa

2.2.2 Biodiesel

La ASTM (American Society for Testing and Materials) define el biodiésel como ésteres monoalquílicos de cadena larga de ácidos grasos (FAME). Se encuentra en estado líquido y se obtiene a partir de recursos renovables como aceites vegetales de soja, colza/canola, girasol, palma y otros, como grasas animales y aceites usados, a través de un proceso denominado Transesterificación (Garrido, 2010).

Se considera un combustible alternativo para motores de combustión interna. Generalmente el biodiesel está compuesto por ésteres metílicos de cadena larga (C14-C22) de ácidos grasos como el ácido láurico, palmítico, esteárico y oleico, además de alcoholes de cadena corta, provenientes del metanol o el etanol. El biodiesel es el mejor candidato para del gasóleo en los motores diesel. El biodiesel es producido principalmente a partir de aceite soja, colza y aceite de palma (Demirbas, 2009).

El biodiesel se obtiene a partir de aceites vegetales y por lo tanto es un combustible renovable. Un combustible renovable como el biodiesel, y la disminución de las emisiones es una necesidad del mundo actual. El biodiesel puro (100%) es conocido como B100. Una mezcla de biodiesel se refiere a una mezcla de biodiesel puro con diesel de petróleo. A las

mezclas de biodiesel se le denominan BXX. El XX indica la cantidad de biodiesel en la mezcla, es decir, una mezcla B80 es 80% biodiesel y 20% diesel de petróleo (Demirbas, 2009).

2.2.2.1 Materias Primas para la elaboración de Biodiesel

Las materias primas más utilizadas para la fabricación de biodiesel debe ser aquella que contenga un alto índice de triglicéridos como: aceite de girasol, colza, soja, aceite de frituras usado, sebo, etc. En la tabla 1 Se muestran las principales materias primas usadas para la elaboración de biodiesel.

Tabla 1 Principales materias primas para la elaboración de biodiesel

Aceites Convencionales	Aceites vegetales Alternativos	Otras fuentes
Girasol	<i>Brassica carinata</i>	Aceite de semillas modificadas genéticamente
Colza	<i>Cynara curdunculus</i>	Grasas animales (sebo de vaca y búfalo)
Coco	<i>Camelina sativa</i>	Aceites de microalgas
Soja	<i>Cambre abyssinica</i>	Aceites de producciones microbianas
Palma	<i>Pogianus</i>	Aceites de frituras

Fuente: (Fenández, 2009)

A continuación se describen cada tipo de materia prima utilizada para la producción de biodiesel.

➤ **Aceites vegetales convencionales**

Las materias primas convencionales más utilizadas han sido los aceites de semillas oleaginosas como el girasol, la colza (Europa), la soja (Estados Unidos), y el coco (Filipinas); y los aceites de frutos oleaginosos como la palma utilizados en Malasia e Indonesia (Fenández, 2009).

- Aceites vegetales alternativos
Son especies más adaptadas a las condiciones del país donde se desarrollan y mejor posicionadas en el ámbito de cultivos energéticos. Destaca la utilización de aceites de *Camelina sativa*, *Cambre abyssinica* y *Jatropha curcas*, por ejemplo. En España los cultivos que más se adaptan a las condiciones de ese país son los cultivos de *Brassica carinata* y *Cynara cardunculus* (Fenández, 2009).
- Aceites vegetales modificados genéticamente
Los aceites y las grasas se diferencian principalmente en su contenido en ácidos grasos. Los aceites con proporciones altas de ácidos grasos insaturados, como el aceite de girasol o de *Camelina sativa*, mejoran la operatividad del biodiesel a bajas temperaturas, pero disminuyen su estabilidad de oxidación, que se traduce en índice de yodo elevado. Por este motivo, se pueden tener en consideración, como materias primas para producir biodiesel, los aceites con elevados contenido en insaturaciones, que han sido modificados genéticamente para reducir esta proporción, como el aceite de girasol de alto oleico.
- Aceites de fritura usados
El aceite usado es una alternativa con mejores perspectivas en la producción de biodiesel, ya que es la materia prima más barata para la producción de este combustible. La utilización de aceites usados contribuye a una buena gestión y uso del residuo.
- Grasas animales
Las grasas animales en especial el sebo de vaca, también puede utilizarse para la producción de biodiesel (Fenández, 2009).

2.3 Uso de biodiesel en motores de combustión interna

La mayor parte de la energía que consumen los motores de combustión interna (MCI) en todo el mundo proviene del petróleo. Debido al agotamiento de este recurso no renovable, con mayor frecuencia se hace necesaria la búsqueda de combustibles alternativos que sustituyan a los tradicionales, utilizados en el transporte público y en motores estacionarios. Los combustibles alternativos utilizados en motores de combustión interna son el biodiésel (BD) y el etanol.

La utilización del biodiésel tiene algunas ventajas medioambientales respecto al combustible diésel, en cuanto a la reducción de la carga contaminante emitida por el motor. Se reportan resultados de pruebas con biodiésel en los que se observa reducción de emisiones de compuestos de azufre hasta en un 20 % respecto al combustible diésel, 10 % de monóxido de carbono (CO), 14% de hidrocarburos (HC) y 26 % de partículas sólidas. En cuanto a las emisiones de óxidos de nitrógeno (NOx), no hay un criterio unánime, algunos trabajos reportan aumento de las emisiones de NOx y otros su disminución (Piloto Rodríguez, 2010).

La adición de biodiesel en el diesel presenta varias ventajas. El biodiesel tiene un mayor número de cetano. El biodiesel mejora la lubricidad, lo que resulta en una larga vida para los componentes del motor. El punto de ignición del biodiesel es también más alto que el diesel. Aunque el punto de ignición no afecta directamente a la combustión, esto hace al biodiesel más seguro en términos de almacenamiento y transporte (Medina, Camarillo, & Ramírez, 2011).

2.4 Métodos utilizados para la producción de biodiésel

Existen diferentes métodos para la producción de biodiésel dependiendo del tipo de materia prima, el tipo de catalizador a utilizar (catalizador ácido ó básico). También se utilizan resinas de intercambio iónico, las lipasas (enzimas) y fluidos supercríticos. Una de las ventajas de este combustible es que las materias primas utilizadas para su producción son naturales y renovables. Generalmente se utilizan aceites de origen vegetal y animal (Marchetti & Errazu, 2007).

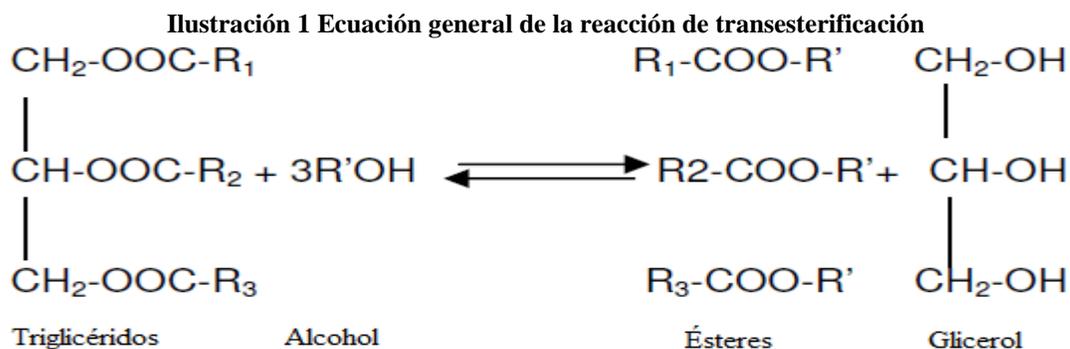
Entre los métodos más utilizados para la obtención de biodiesel se encuentran:

- ❖ Transesterificación (ácida, básica y enzimática)
- ❖ Pirólisis
- ❖ Fluidos supercríticos

2.4.1 Transesterificación

Los aceites vegetales normalmente contienen los ácidos grasos libres, fosfolípidos, esteroides, agua, y otras impurezas. Debido a esto, el aceite no puede ser utilizado directamente como combustible. Para superar estos problemas, el aceite vegetal requiere una modificación química ligera llamada transesterificación. Esta modificación produce un combustible más limpio y ambientalmente seguro (biodiesel), cuyo componente principal son los ésteres monoalquílicos de ácidos grasos de cadena larga (S.N. Naik, 2006).

La Transesterificación o alcoholólisis de nominada así por utilizar un alcohol de cadena corta como: metanol ó etanol, se refiere al desplazamiento del radical del alcohol por otro proveniente de un éster suministrado por los triglicéridos de grasas animales o vegetales, en un proceso similar a la hidrólisis, a excepción de que se utiliza alcohol en lugar de agua. Este proceso es ampliamente utilizado para reducir la alta viscosidad de los triglicéridos. En la ilustración 1 se presenta la ecuación general de la transesterificación.

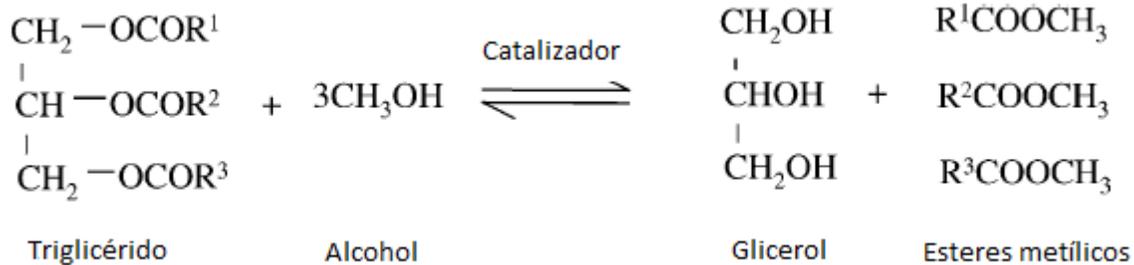


Fuente (Parawira, 2010)

Obtención de biodiesel a partir de aceites usados en casa habitación de la comunidad del Refugio

Para la transesterificación se puede usar metanol o etanol. Si se usa metanol el proceso se llama metanolisis (ver ilustración 2), y si se utiliza etanol se llama etanolisis.

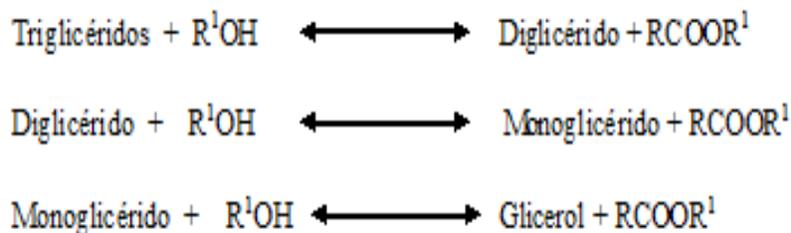
Ilustración 2 Ecuación general para la etanolisis de triglicéridos



Fuente (S.N. Naik, 2006)

Ambos procesos pueden ser catalizados por un ácido o una base. Los álcalis más utilizados son el hidróxido sodio, hidróxido potasio, y carbonatos. Los catalizadores ácidos habituales utilizados son: ácido sulfúrico, ácidos sulfónicos, ácido clorhídrico. Después de la transesterificación de los triglicéridos, los productos son una mezcla de ésteres, glicerol, alcohol, catalizador y tri-, di- y monoglicéridos que luego son separados (Parawira, 2010). La capa de glicerina se asienta en el fondo del recipiente de reacción. La formación de diglicéridos y monoglicéridos son un paso intermedio en el proceso. En la ilustración 3 se describe el mecanismo de reacción de transesterificación.

Ilustración 3 Mecanismo de reacción



Fuente (S.N. Naik, 2006)

Las etapas son reversibles y un pequeño exceso de alcohol se utiliza para cambiar el equilibrio hacia la formación de ésteres.

2.4.1.1 Métodos catalíticos utilizados para la transesterificación

Los aceites vegetales y animales pueden ser convertidos en biodiesel mediante su calentamiento con un gran exceso de alcohol en presencia de un catalizador. La transesterificación es una reacción que puede ser catalizada por una base (hidróxido de sodio e hidróxido de potasio), por un ácido (ácido sulfúrico), o enzimas como las lipasas (Demirbas, 2009).

2.4.1.1.1 Catálisis ácida

Los catalizadores ácidos más usados son el ácido sulfúrico y ácido sulfónico. Estos compuestos permiten tener rendimientos muy altos de alquilesteres, pero las reacciones son muy lentas, necesitando temperaturas por arriba de los 100°C y más de tres horas para alcanzar para alcanzar una conversión completa. Una de las principales ventajas que se tienen al utilizar este tipo de catalizadores se debe a que cualquier ácido graso libre se puede esterificar o convertir en biodiesel (Bejumbea, Agudelo, Zapata, & Mendoza, 2003).

El catalizador se disuelve en metanol con agitación vigorosa en un pequeño reactor, inmediatamente después la mezcla catalizador/alcohol es bombeado al reactor que contiene el aceite para que se lleve a cabo la reacción de transesterificación. Este tipo de catálisis generan un alto rendimiento en la formación de ésteres de alquilo, pero el proceso es muy lento. Un exceso de alcohol favorece la formación de ésteres de alquilo, aunque provoca una difícil recuperación de la glicerina (Demirbas, 2009).

2.4.1.1.2 Catálisis básica.

Este método de catálisis consiste en disolver el catalizador básico (KOH o NaOH) en alcohol para formar un alcóxido. Posteriormente la mezcla catalizador/alcohol se transfiere al reactor donde se encuentra el aceite. La mezcla final se agita vigorosamente durante un tiempo aproximado de 2 horas a 67°C. Una reacción de transesterificación exitosa produce dos fases líquidas: ésteres y glicerol crudo.

Los alcóxidos de metales alcalinos (como CH_3ONa para metanólisis) son catalizadores muy activos, obteniéndose rendimientos muy altos (> 98%) en tiempos de reacción corto (30 min), e incluso si se aplican a bajas concentraciones molares (0,5M). La reacción de esterificación al usar metóxido de sodio en comparación con el de potasio es más rápida y la reacción es más lenta al usar alcoholes de mayor peso molecular (Demirbas, 2009).

2.4.1.1.3 Catálisis enzimática.

Este proceso también se suele llamar biocatalisis. Para llevar a cabo el proceso, por lo general se utilizan lipasas (enzimas) como: *Chromobacterium viscosum*, *Candida rugosa* y el *páncreas porcino*. La enzima *C. viscosum* es la que presenta un mejor rendimiento en comparación las otras dos en un tiempo de reacción de 8 horas a 113 K. Sin embargo el proceso de transesterificación catalizado por enzimas aún no se ha desarrollado comercialmente, aunque muchos autores han reportado nuevos resultados con respecto a la optimización de las condiciones de reacción (disolvente, temperatura, pH, el tipo de microorganismo que genera la enzima, etc) con el fin de establecer las características adecuadas para su aplicación industrial. Sin embargo, la reacción de los rendimientos, así como la reacción tiempos siguen siendo desfavorables en comparación con la reacción catalizada por bases sistemas. Debido a su fácil disponibilidad y la facilidad con la que puede ser manejado, enzimas hidrolíticas han sido ampliamente aplicadas en la síntesis orgánica (Demirbas, 2009).

2.4.1.1.3 Pirolisis

La pirólisis se refiere a la conversión de una sustancia en otra por medio de energía térmica en presencia de calor un catalizador (Mohan, Pittman, & Steele, 2006). Este proceso se ha realizado con aceite de soja mediante una descomposición térmica, que posteriormente se destila. Los principales componentes obtenidos fueron son los alcanos y alquenos que representaron el 60% del peso total, ácidos carboxílicos con un porcentaje en peso de 16.1%.

También se ha usado aceite de copra y palma para producir gases, líquidos y sólidos con menor peso molecular. Se encontró que la conversión de aceite de palma fue de 84% y 74% en peso para el aceite de copra. El catalizador utilizado fue sílice-alúmina. El aceite de palma se puede convertir en gasolina, diesel y keroseno, gases ligeros, coque con un rendimiento de 70% en peso (Demirbas, 2009).

2.5 Efecto de diferentes parámetros en la producción de biodiesel

Para llevar cabo una transesterificación exitosa se deben tomar en cuenta los diferentes parámetros que afectan la reacción como lo son la relación molar alcohol/aceite, humedad, ácidos grasos libres, temperatura, agitación, tiempo de reacción y catalizador.

2.5.1 Efecto de la relación molar

En la actualidad los autores reportan distintas relaciones molares para llevar a cabo la reacción de transesterificación, entre el aceite-alcohol, que va a depender del tipo de esterificación ya sea acida o alcalina. En la tabla 2 se muestra una lista de los autores que reportan distintas relaciones en condiciones ácidas y básicas.

Tabla 2 Lista de autores y sus reportes de relación molar

Nombre del autor	Esterificación ácida	Esterificación básica
Ramadhas y Sahoo	06:01	09:01
Sharma y Singh	08:01	09:01
Veljkovic	18:01	06:01
Meher	06:01	12:01

Fuente: (Sharma, Singh, & Upadhyay, 2008)

La presencia de una cantidad suficiente de metanol (mayor que la estequiometría) durante la reacción de transesterificación es esencial para romper la glicerina los vínculos de ácidos grasos. Pero el exceso de metanol debe ser evitado. El aumento de la proporción molar de metanol / aceite más allá de 6:01 no aumenta el rendimiento del en la

obtención de esteres metílicos, sino más bien provoca que el proceso de purificación de biodiesel sea más complicado lo que eleva el costo de producción (Sharma, Singh, & Upadhyay, 2008).

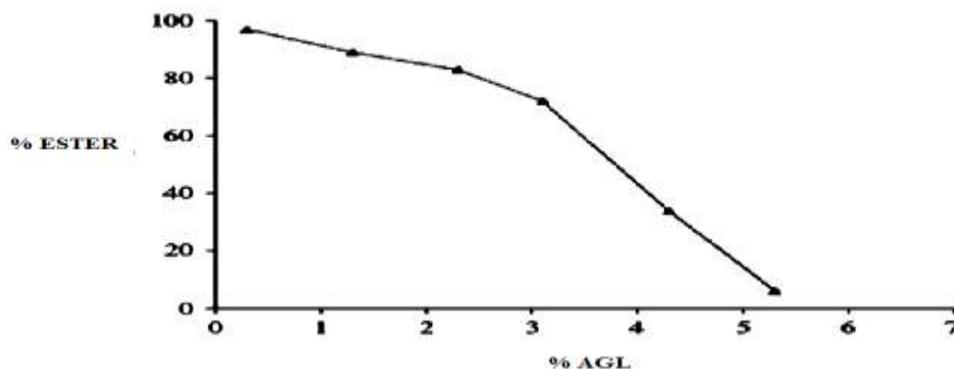
2.5.2 Efecto de la humedad sobre el rendimiento del biodiesel

La presencia de agua en el aceite disminuye el rendimiento del biodiesel, debido a la presencia de los ácidos, por lo tanto, la materia prima grasos debe ser libre de agua (Kusdiana & Saka, 2004). La presencia de humedad en el aceite provoca la formación de jabón, consume catalizador y reduce la eficacia de los catalizadores. El exceso de humedad puede ser eliminado por medio de un tratamiento térmico en un horno durante 1 el contenido de humedad de los vegetales aceite por el calentamiento en el horno durante 1 hora a 383 K.

2.5.3 Efecto de los ácidos grasos libres (AGL)

El contenido de ácidos grasos libres (AGL) debe ser mínimo no mayor al 2%, debido a que en el proceso de transesterificación alcalina los ácidos reaccionan con el catalizador alcalino y tienden a formar jabón en lugar de esteres metílicos. Esto trae como consecuencia un bajo rendimiento en la formación de biodiesel. En la ilustración 4 se muestra el efecto de los ácidos grasos libres en el rendimiento de obtención de biodiesel. Se puede observar que el rendimiento de esteres metílicos disminuye al aumentar el porcentaje de ácidos grasos libres en la materia prima utilizada.

Ilustración 4 Efecto de los AGL en el rendimiento de la reacción de transesterificación catalizada por una base



Fuente: (Sharma, Singh, & Upadhyay, 2008)

2.5.4 Efecto de la temperatura

De acuerdo con varios investigadores el rango de temperatura a la cual se debe trabajar el proceso de transesterificación oscila entre 45 y 65°C, ya que a una temperatura mayor al punto de ebullición del metanol este se quema y provoca un rendimiento menor. También se ha demostrado que a una temperatura superior a 50°C la transesterificación tiene un impacto negativo cuando se usa aceite puro y un efecto positivo cuando se usa aceite usado con mayor viscosidad (Leung & Guo, 2006)

2.5.5 Efecto de la agitación.

La agitación juega un papel importante en el rendimiento de obtención del biodiesel. Meher informó que llevó a cabo la reacción transesterificación con agitación a 180, 360 y 600 revoluciones por minuto (rpm), indicando reacción incompleta a 180 rpm y que el rendimiento de éster metílico fue lo mismo con 360 y 600 rpm, alrededor del 89%, como consecuencia de una buena mezcla de los reactivos por medios mecánicos de agitador (Meher, Dharmagadda, & Naik, 2006).

2.5.6 Tiempo de reacción

De acuerdo con varios autores la conversión del aceite a biodiesel se incrementa con el tiempo de reacción. Se ha estudiado la conversión de aceite de cacahuate, semilla de girasol y soya, con una relación molar de Metanol/aceite de 6:1 con 0.5% de metóxido de sodio obteniéndose rendimientos que oscilan entre 93-98% de conversión para una hora de reacción. El porcentaje de conversión se incrementa con el tiempo de reacción (LOAIZA, 2003).

2.5.7 Cantidad de catalizador

Generalmente los catalizadores utilizados para el proceso de transesterificación son ácidos, bases o enzimas. La transesterificación catalizada por una base es más rápida que la realizada por un ácido. El catalizador más usado para el proceso de transesterificación es el hidróxido de sodio debido a que es más barato en comparación con el hidróxido de potasio. El catalizador es eficaz al 1% en peso en relación con el aceite, para una relación molar de metanol/aceite de 6:1, obteniéndose un 98% de conversión de los triglicéridos a Ester metílico (LOAIZA, 2003).

2.6 Calidad del biodiesel

La empresa Bosch realizó un detallado estudio sobre los problemas causados por el uso de biodiesel los últimos años. Las fallas reportadas en motores adecuados para el uso de biodiesel, están relacionadas con la falta de calidad biocombustible, destacando la importancia de contar con un sistema de control de calidad efectivo para la producción de biodiesel, así como, la observación de las normas que especifican los parámetros del mismo. Este es un aspecto clave que determina el funcionamiento y vida útil de los equipos de inyección de combustibles en motores diésel.

Cada falla de motores producida por el uso de biodiesel en motores diésel contribuye a una insatisfacción de los consumidores, y además destruye todas las características positivas que tiene el biocombustible, por lo que se debe asegurar que la calidad del producto sea adecuada. Para lograr los estándares de calidad requeridos para el uso y distribución del biodiesel, los países líderes en este ramo han publicado sus propios estándares, destacando los ASTM para los Estados Unidos de Norteamérica (USA), EN para la Unión Europea y las DIN para Alemania (Querini, 2007).

Obtención de biodiesel a partir de aceites usados en casa habitación de la comunidad del Refugio

Los estándares más importantes para verificar la calidad del biodiesel son la norma EN 14214 correspondiente para la unión Europea, la norma ASTM D 6751 para los Estados Unidos. En la tabla 3 se muestran los parámetros y límites establecidos para cada parámetro, así como, los ensayos usados por cada norma.

Tabla 3 Lista de parámetros para determinar la calidad del biodiesel

Parámetro	Unidad	EN 14212	Método de ensayo	ASTM D 6751	Método de ensayo
Densidad	Kg/m ₃	860-900	EN ISO 3675 / 12185		ASTM D 4052, ASTM D 1298
Viscosidad a 40°C	mm ² /s	3.50-5.00	EN ISO 3104	1.9-6 .0	ASTM D 445
Punto de inflamación	°C	≥ 101	EN ISO 3679	≥ 93	ASTM D 93
Contenido de azufre	mg/kg	≤ 10	EN ISO 20846	≤ 15 / ≤ 500	ASTM D 5453
Número de cetano		≥ 51	EN ISO 5165	≥ 47	ASTM D 613
Contenido de agua	mg/kg	≤ 500	EN ISO 12937		
Agua y sedimentos	% vol/vol			≤ 0.050	ASTM D 2709
Índice de acidez	mg KOH/g	≤ 0.5	EN 14104	≤ 0.50	ASTM D 664
Contenido de metanol	% m/m	≤ 0.2	EN 14110		
Glicerol libre	% m/m	≤ 0.02	EN 14105	≤ 0.02	ASTM D 6584
Glicerol total	% m/m	≤ 0.25	EN 14105	≤ 0.240	ASTM D 6584

Fuente: (Haupt, Bockey, & Wilharm, 2010)

2.7 Caracterización de los parámetros más importantes del biodiesel.

A continuación se describen algunos métodos utilizados para la determinación de los parámetros del biodiesel que determinan la calidad del mismo.

2.7.1 Densidad

Este parámetro se puede determinar mediante el método ASTM D 1298 standard test method for density, relative density (specific gravity), or API gravity of crude petroleum and liquid petroleum products by hydrometer method. Este método contempla la determinación de la gravedad API (G_{API}) La gravedad específica o densidad relativa (G). Para realizar esta determinación se utiliza un termohidrómetro calibrado y graduado con subdivisiones de 0.5 G_{API} (Bejumbea, Agudelo, & Ríos, 2009)

2.7.2 Poder calorífico

El poder calorífico superior (PCS) se determina mediante el uso de una bomba calorimétrica adiabática, tomando como referencia el método ASTM D 240 Stand test method for heat of combustion of liquid hydrocarbon fuels by bomb calorimeter. El PCS incrementa ligeramente a medida que aumenta el número de átomos de carbono del grupo alquilo.

2.7.3 Viscosidad

La viscosidad cinemática se puede determinar con un viscosímetro Ostwald con base en la norma ASTM D 445 Stand test method for kinematic viscosity of transparent and opaque liquids (and de calculation of dynamics viscosity). Las constantes de los capilares son suministrados por los fabricantes y se rectifican con los líquidos de calibración y su valor a distintas temperaturas se obtuvo mediante regresión lineal.

2.7.4 Curva de destilación

La curva de destilación se construye siguiendo el procedimiento recomendado en el método ASTM D 86 Standard test method for distillation for petroleum products at atmospheric.

Además del punto inicial y final de ebullición se deben registrar las temperaturas correspondientes a los porcentajes de destilados en múltiplos de diez (Bejumbea, Agudelo, & Ríos, 2009).

2.7.5 Índice de cetano calculado

El índice de cetano se puede determinar mediante un motor de prueba especialmente diseñado para cumplir con las especificaciones ASTM D 613 o mediante un aparato de combustión a volumen constante ASTM D 6890. Ambos métodos son muy costosos, pero el índice de cetano se puede determinar mediante correlaciones empíricas que permiten determinar el número de cetano de combustibles diesel a partir de propiedades de fácil medición como la densidad y la curva de destilación. Al número de cetano calculado con correlaciones, para diferenciarlo del obtenido experimentalmente, se le denomina índice de cetano calculado (ICC), (Bejumbea, Agudelo, & Ríos, 2009).

2.7.6 Punto de inflamación a copa cerrada

El punto de inflamación se refiere a la temperatura más baja corregida a una presión barométrica de 101.3 Kpa (760 mm Hg). Al aplicar una fuente de ignición a la muestra se producen vapores que se inflaman sobre la muestra. Para dar cumplimiento a la norma ASTM D93 se debe obtener una temperatura mínima de 130°C (Van Gerpen, Shanks, Pruszko, & Clements, 2004).

2.7.7 índice de acidez

El índice de acidez se refiere a la cantidad de base expresada en miligramos de hidróxido de potasio por gramo de muestra, requerida para neutralizar la muestra. Es decir, es una medida de cantidad de ácidos grasos libres en el biodiesel. La presencia de ácidos grasos en el biocombustible puede causar corrosión e incrementa la probabilidad de presencia de agua.

Esta determinación se puede realizar mediante el método descrito en la norma ASTM D 664 y el valor máximo aceptado es 0.80 mg KOH/g de muestra (Van Gerpen, Shanks, Pruszko, & Clements, 2004).

2.7.8 Glicerina libre

Este parámetro se puede determinar haciendo referencia a la norma ASTM D 6584. Esta determinación es de suma importancia, ya que la presencia de glicerol en el combustible puede ocasionar problemas al motor debido a que causa depósito de carbón en el motor como causa de una combustión incompleta.

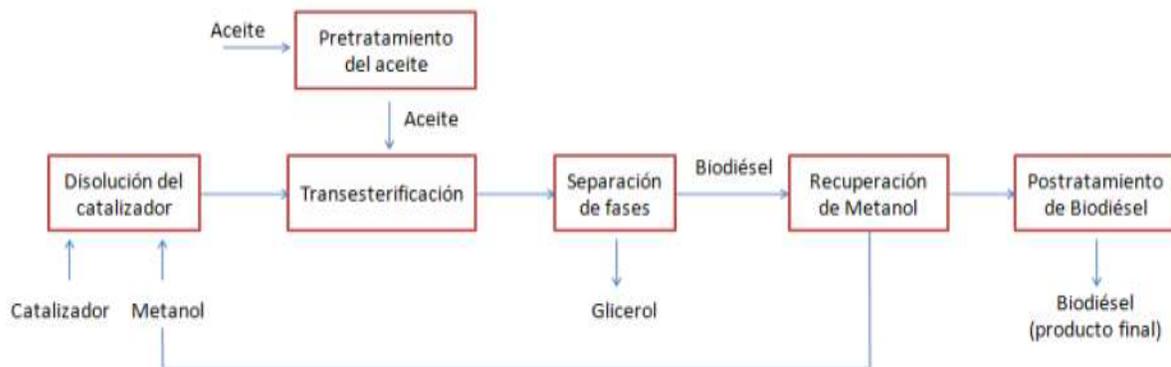
2.7.9 Punto de Nube

Este parámetro indica la temperatura a la cual empiezan a precipitar ciertos compuestos en el combustible. Es una medida muy importante a tener en cuenta si se usa el motor en climas fríos.

2.8 Obtención de biodiesel a partir de aceites usados de cocina

Para poder obtener una transesterificación exitosa por vía alcalina en la producción de biodiesel usado, se deben seguir los pasos que se muestran en la ilustración en la figura 4.

Ilustración 5 Proceso de producción de biodiesel a partir de aceites usados



Fuente: (Barriga, 2011)

2.8.1 Pretratamiento

Este paso consiste en acondicionar los aceites usados de cocina para que puedan ser procesados con catálisis alcalina, eliminando los sólidos disueltos, humedad y el contenido de ácidos grasos libres, que influyen en el proceso de transesterificación.

2.8.2 Filtrado

Consiste en la retención de impurezas sólidas y generalmente se hace con un tamiz de 5 micras. Puede efectuarse en caliente para agilizar el flujo del aceite o a baja temperatura para eliminar grasas que solidifican (ceras) o productos con bajos puntos de fusión provenientes de los procesos de fritura (Barriga, 2011).

2.8.3 Desgomado

Este proceso se realiza con agua caliente para reducir la cantidad de fosfolípidos y fosfátidos en los aceites. Se deben hidratar las gomas y hacerlas insolubles en el aceite, para que posteriormente puedan ser removidas por decantación o centrifugación.

2.8.5 Transesterificación

La transesterificación se lleva acabo como se menciona en el tema 2.4.1.1.1

2.8.6 Separación de fases

Dado que los productos principales del proceso de transesterificación (metil esteres y glicerina) son poco solubles y dado que tienen diferentes densidades se pueden separar con facilidad por medio de decantación o a través de una centrifuga.

La agitación en la reacción de Transesterificación origina que el glicerol se disperse en finas gotitas en toda la mezcla, lo que trae como consecuencia un mayor tiempo de decantación. Por esta razón, se recomienda que la agitación se disminuya a medida que la reacción progresa, lo que permite disminuir el tiempo necesario para la separación de las fases (Barriga, 2011).

2.8.7 Recuperación de Metanol y lavado del biodiésel

Los esteres metílicos se someten a un proceso con temperatura para evaporar el metanol y recuperarlo. Esto permite el ahorro de insumos y evita las emisiones de Metanol al ambiente. Luego son llevados a un proceso de lavado con la finalidad de remover residuos de catalizador, jabón, Metanol y glicerol. El lavado se realiza por aspersion con agua caliente (50 a 60 °C); El lavado se realiza con agua acidulada con el objetivo de neutralizar el catalizador remanente, formando una sal que es eliminada conjuntamente con el agua de lavado. También separa los jabones que se puedan haber formado en la reacción, convirtiéndolos en ácidos grasos libres (que se quedan en el biodiésel) y en sales solubles en agua. Este lavado se realiza por lo menos dos veces con agua, hasta que se haya eliminado todo el catalizador residual alcalino y biodiesel obtenga un color claro.

2.8.8 Secado

El biodiésel puede contener hasta 1500 ppm de agua disuelta y el diesel convencional tiene generalmente un contenido de 50 ppm. Esta solubilidad del agua en éster supera el contenido especificado por las normas de calidad. Por lo tanto el biodiésel tiene que pasar por un proceso de secado, generalmente por secadores por vacío que opera a una presión muy baja para evaporar el agua a temperatura mucho más baja (HERVÉ, 2007).

2.9 Beneficios ambientales de la producción de biodiesel

Los combustibles fósiles y sus derivados contienen bióxido de carbono que ha estado almacenado en el subsuelo por millones de años, de tal manera que cuando se usan para procesos de combustión, ese carbono contenido en el combustible pasa a ser parte de la atmósfera incrementando la cantidad de este gas. Actualmente es tal la cantidad de bióxido de carbono de origen fósil que agregamos a la atmósfera, que hemos generado un desbalance provocando lo que se conoce como calentamiento global. En cambio, el bióxido de carbono contenido en los biocombustibles es el que capturaron los cultivos en su ciclo de vida, de tal forma que cuando quemamos el biocombustible le regresamos a la atmósfera una cantidad de bióxido de carbono que pertenece a su equilibrio y será vuelta a capturar por las plantas (SAGARPA, 2011).

La mayoría de los trabajos publicados en esta área coinciden en reportar que hay una disminución significativa en la emisión de bióxido de carbono cuando se usan biocombustibles en lugar de los combustibles convencionales.

El uso de biocombustibles presenta las siguientes ventajas:

- Reducen la alta dependencia hacia los combustibles fósiles.
- Debido al desarrollo tecnológico en la producción de biocombustibles y a las tendencias del precio del petróleo, en un futuro cercano la conveniencia de usar biocombustibles será todavía más alta.

Obtención de biodiesel a partir de aceites usados en casa habitación de la comunidad del Refugio

- Promueven la agricultura debido a la alta demanda de cultivos energéticos.
- Crean empleos, tanto en la agricultura como en la industria de producción de biocombustibles.
- Reducen la emisión de bióxido de carbono y con ello el calentamiento global (SAGARPA, 2011).

III JUSTIFICACION

Actualmente en la ciudad de Tijuana no existe un programa para la recolección de aceites usados en casa habitación, generando una mayor contaminación en el agua residual al ser vertidos en el drenaje de la ciudad, además de generar contaminación en suelo, cuando la población dispone los residuos a la basura. Estos residuos que no tienen ningún valor agregado se pueden convertir en un producto con gran valor mediante su conversión a biodiesel, generando una alternativa energética para la sustitución de combustibles fósiles, considerando que actualmente existe escasez de petróleo y sus derivados.

En Baja California el potencial de biomasa proveniente de cultivos es bajo, como consecuencia de las características desérticas de los suelos y la falta de terrenos para el cultivo energético. Los residuos sólidos urbanos, aguas residuales y estiércol de ganado son los tipos de biomasa de mayor presencia en el estado, por lo tanto, los aceites usados son una alternativa para la producción de bioenergéticos.

Debido a estos inconvenientes para la obtención de biomasa útil para la obtención de bioenergéticos, la producción de biodiesel a partir de aceites usados tiene un gran campo para la investigación y aplicación como alternativa energética. Esto puede generar un impacto económico debido a la generación de empleos, y por consecuencia un impacto social al mejorar la calidad de vida de los ciudadanos, en particular para el municipio de Tijuana, ya que al no contar con suficiente terrenos para la producción agrícola y cultivos energéticos, este tipo de residuos resulta una alternativa para la producción de biodiesel.

Por lo que se realizará una investigación enfocada a encontrar la metodología óptima para la conversión de los aceites usados generados en casa-habitación en biodiesel, como posible solución a una problemática ambiental, comenzando por la comunidad del Refugio para su posible extensión en toda ciudad.

3.1 Preguntas a resolver

¿Un programa de recolección de aceite, contribuye a la disminución de la contaminación de suelo y agua en la comunidad del Refugio, Tijuana, B.C.?

¿El aceite generado en las casas habitación de la zona del Refugio de Tijuana B.C puede ser usado para la producción de biodiesel?

IV HIPÓTESIS

La metodología y técnicas seleccionadas para la obtención de biodiesel permiten rendimientos mayores del 70%.

V OBJETIVOS

5.2 Objetivo general

Obtener biodiesel a partir de aceites usados, mediante la selección y aplicación de técnicas que permitan lograr un mayor rendimiento y aprovechamiento sustentable en la producción de biodiesel.

5.3 Objetivos específicos

- Elaborar un programa de recolección de aceite y establecer la cantidad de aceite usado generado en promedio por la comunidad del refugio.
- Caracterizar la biomasa Residual (aceite usado).
- Obtener biodiesel por medio de la transesterificación acida o básica.

VI METODOLOGÍA

En este apartado se incluyen las actividades a realizar para cumplir con los objetivos planteados e incluyendo la metodología utilizada. En la ilustración 6 se incluye el cronograma de actividades, que muestra las actividades realizadas y el tiempo aproximado para su elaboración.

Ilustración 6 Cronograma de actividades

CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES													
No.	NOMBRE DE LAS ACTIVIDADES DEL PROYECTO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	Establecimiento del programa de recolección de aceites usados.	■	■	■	■								
2	Caracterización de la Biomasa (aceite usado)			■	■	■	■	■	■				
3	Obtención de Biodiesel						■	■	■	■	■	■	■

Fuente: autoría propia

6.1 Establecimiento del programa de recolección de aceites usados

Para llevar a cabo el establecimiento del plan de recolección de aceites usados, el paso consistió en delimitar la zona de estudio. Para este proyecto se eligió la comunidad El Refugio, debido a su colindancia con la Universidad Tecnológica de Tijuana. La comunidad de Refugio cuenta con de 10146 hogares de acuerdo con el último conteo del Instituto Nacional de estadística geografía e informática (INEGI, Censo de Población y Vivienda 2010, 2012). La comunidad del refugio se divide en 6 fraccionamientos, El Refugio, Fraccionamiento quintas campestre el refugio, Palmillas, Laurel, Laurel II y Lomas del refugio (ver ilustración 7).

Ilustración 7 Población del Refugio



Fuente: Gogle Eart 2012

Por cuestiones de tiempo, solo se escogió para el estudio una parte de la comunidad del Refugio (fraccionamiento quintas campestre El refugio) para establecer un objetivo alcanzable (ver ilustración 8).

Ilustración 8 Mapa de identificación de la zona elegida



Fuente: Google Earth, 2012.

Debido a que no se contaba con el número total de casas del área seleccionada, se realizó un conteo físico encontrando un total de 1920 casas. Dado que, por cada 10 casas 2 se encuentran deshabitadas, entonces el número total de casas potenciales para realizar un plan de recolección de aceites son 1536.

Obtención de biodiesel a partir de aceites usados en casa habitación de la comunidad del Refugio

Una vez establecido el número de casas habitadas se procedió a determinar la muestra a utilizar para el levantamiento de una encuesta que permitiera conocer parámetros importantes para establecer un plan piloto de recolección. El número de muestra se determinó tomando como base la NMX-AA-061-1985 "Protección al Ambiente - Contaminación del Suelo - Residuos Sólidos Municipales- Determinación de la Generación". Esta norma mexicana considera que por cada 500 casas, el tamaño de premuestra debe ser de 115, con una exactitud del 95%; teniendo así un total de 345 casas a encuestar.

Una vez delimitada el área a encuestar se dividió en cuadrantes para tener un mejor control sobre la distribución del territorio y las casas a encuestar (ver ilustración 9). Cada cuadrante agrupa un total de 12 casas.

Ilustración 9 Población estratificada



Fuente: Autoría propia

Para determinar las casas a encuestar se utilizaron números aleatorios, dado que la numeración que presenta la norma NMX-AA-061-1985 no es suficiente para el total de casas habitación, se utilizó en programa Microsoft Office Excel. Los resultados arrojados por el programa se pueden visualizar en el anexo 1.

El siguiente paso consistió en redactar la encuesta a aplicar considerando: la cantidad de dinero que gasta la comunidad en la compra de aceite comestible, el tipo de aceite que usan, el reúso del aceite, la disposición final del aceite usado, la donación de aceite, entre otros, ver anexo 2. Posteriormente a esto se procedió a aplicar la encuesta a las 345 casas seleccionadas, para poder establecer un programa de recolección. El análisis de los datos y el plan de recolección se presentan en el apartado de resultados.

6.1.1 Recolección de aceite.

La recolección de aceite se llevó a cabo mediante la implementación de un plan piloto de recolección, considerando 50 casas y elegidas con base a los resultados de la encuesta. El plan consiste en proporcionar un recipiente con una capacidad de 500 ml a cada una de las casas seleccionadas, para que la población deposite su aceite usado. La recolección se realiza de forma semanal y se vuelve a dejar un recipiente limpio.

6.2 Caracterización de la Biomasa residual (aceite usado)

6.2.1 Pre-tratamiento a la materia prima.

Una vez recolectado el aceite se sometió a un pretratamiento físico para eliminar los sólidos suspendidos y sustancias químicas que pueden afectar el proceso de transesterificación. En primer lugar se realizó una filtración del aceite con una malla metálica con número mesh correspondiente a ASTM E-11 de 18 de 1 mm, posteriormente se volvió a filtrar el aceite con una malla con número mesh 140 de 106 micrómetros y finalmente se filtró con un filtro Whatman de grado 40 de 8 micras. En la ilustración 10 se muestra el proceso de filtrado del aceite.

Ilustración 10 Filtrado del aceite



Fuente: Autoría propia

El aceite filtrado se sometió a un proceso de lavado con agua destilada a 70°C para eliminar impurezas químicas (goma) (Lafont, Páez, & Torres, 2011). Por cada 150 ml de aceite se utilizaron 50 ml de agua. La mezcla agua aceite se separó con la ayuda de embudos de separación con capacidad de 500 y 1000 ml, tal como se muestra en la ilustración 10.

Ilustración 11 Separación agua - aceite



Fuente: Autoría propia

El aceite lavado y libre de goma, se sometió a un proceso térmico durante dos horas a una temperatura aproximada de 110°C en un horno de aire seco para eliminar la humedad que pudiera quedar presente en el aceite como consecuencia del proceso de lavado.

6.2.2 Caracterización del aceite

Una vez realizado el pre-tratamiento con la finalidad de obtener el aceite limpio y seco. Se procedió a determinar las propiedades físicas y químicas del aceite, para conocer sus características y poder tomar decisiones sobre el tipo de proceso que se debe utilizar para obtener el mayor rendimiento posible en la producción de biodiesel. La caracterización del aceite se realizó haciendo referencia a las normas Mexicanas utilizadas para la caracterización de aceites vegetales y animales. En la tabla 4 se muestra los parámetros determinados y la norma mexicana de referencia utilizada.

Tabla 4 Parámetros determinados del aceite

Determinación	Norma Mexicana
Contenido de humedad	NMX-F-211-SCFI-2006
Contenido de Jabón	NMX-F-492-2009
Densidad relativa	NMX-F-075-2012
Índice de acidez	NMX-F-101-2006
Materia insaponificable	NMX-K-306-SCFI-2006
Índice de saponificación	NMX-F-174-2006

Fuente: Autoría propia

A continuación se describen cada uno de los métodos utilizados para cada una de las determinaciones realizadas para caracterizar el aceite.

6.2.2.1 contenido de humedad

Para determinar la humedad se hizo referencia a la NMX-F-211-SCFI-2006 determinación de humedad y materia volátil. El método consiste en pesar una cantidad de muestra en un crisol previamente tarado y aplicar un tratamiento térmico procurando no sobrepasar la temperatura de 130°C, excepto cuando se alcanza el punto final. Tal como se muestra en la ilustración 12.

Ilustración 12 Determinación de humedad



Fuente: Autoría propia

El cálculo de la humedad se realizó mediante la siguiente ecuación:

$$\% \text{humedad} = \frac{M_1 - M_2}{M_1} \times 100$$

Dónde:

M_1 = Masa de la muestra inicial en gramos

M_2 = Masa de la muestra final en gramos

En la Tabla 5, se muestran los resultados obtenidos de la prueba y dos replicas realizadas para determinar la humedad del aceite.

Tabla 5 Resultados de la prueba de humedad

Número de prueba	M₁	M₂
1	10.0613	10.0606
2	10.0200	10.0198
3	10.1957	10.1954

Fuente: Autoría propia

Los resultados se calcularon de la siguiente forma:

Cálculo de la primera prueba

$$\%humedad = \frac{10.0613 - 10.0606}{10.0613} \times 100 = 0.0069$$

Cálculo de la segunda prueba

$$\%humedad = \frac{10.0200 - 10.0198}{10.0200} \times 100 = 0.00199$$

Cálculo de la tercera prueba

$$\%humedad = \frac{10.1957 - 10.1954}{10.1957} \times 100 = 0.00294$$

6.2.2.2 Contenido de jabón

Tomando como base la norma NMX-F-492-SCFI-2009 el método de prueba consiste determinar el contenido de jabón de la muestra por su alcalinidad como oleato de sodio usando un método de titulación química. En su parte inicial el método consiste en agregar a 40 gramos de muestra 50 ml de una solución de prueba a base de acetona, permitiendo que se formen dos capas diferentes y bien formadas. Si hay presencia de jabón en el aceite o grasa, la capa superior estará coloreada de verde azul. En el caso que no se encuentre presencia de jabón las capas serán de color amarillo, tal como, se muestra en la ilustración 13.

Ilustración 13 Sin presencia de jabón



Fuente: Autoría propia

Si La solución torna un color verde azul, se titula con una solución 0.1N de HCl, hasta que se torne a un color amarillo. En este caso no hubo presencia de coloración azul por lo que se puede determinar que el aceite no contiene jabón.

6.2.2.3 Determinación de ácidos grasos libres e Índice de acidez

La determinación se llevó a cabo mediante la titulación de los ácidos grasos libres, con un álcali, tal como se indica en la norma NMX-F-101-2012. A la muestra seca y filtrada se le agrega alcohol metílico. Después la muestra es sometida a un baño de vapor a reflujo hasta dilución completa y finalmente se titula con una solución de hidróxido de sodio (ver ilustración 14).

Ilustración 14 Determinación de ácidos grasos libres (método volumétrico)



Fuente: Autoría propia

En la tabla 6, se muestran los mililitros utilizados de hidróxido de sodio utilizados para neutralizar los ácidos grasos libres presentes 7 gramos en promedio de muestra (aceite).

Tabla 6 Mililitros gastados de NaOH

Prueba	Mililitros de NaOH
1	0.5 mililitros
2	0.5 mililitros
3	0.6 mililitros

Fuente: Autoría propia

Obtención de biodiesel a partir de aceites usados en casa habitación de la comunidad del Refugio

La fórmula utilizada para realizar los cálculos de % de ácidos grasos libres e índice de acidez son:

$$\% \text{ ácidos_grasos} = \frac{VxNx28.2}{pm}$$

meq = miliequivalente del ácido graso de referencia (oleico 0.282)

N = Normalidad del hidróxido de sodio.

V= Mililitros de NaOH gastados en la titulación de la muestra

pm= Peso de la muestra en gramos.

A continuación se muestra como se realizó el cálculo correspondiente.

Prueba 1

$$\% \text{ ácidos_grasos} = \frac{0.5ml \times 0.23 \times 28.2}{7g} = 0.46\%$$

Para encontrar el índice de acidez se multiplicó por 1.99.

Índice de acidez = $0.46 \times 1.99 = 0.9154$ mg de KOH

Prueba 2

Se realizó el mismo cálculo que en la prueba 1, ya que se obtuvo el mismo dato de mililitros gastados de NaOH.

% de ácidos grasos = 0.46%

Índice de acidez = 0.9154 mg de KOH

Prueba 3

$$\% \text{ ácidos_grasos} = \frac{0.6ml \times 0.23 \times 28.2}{7g} = 0.5555\%$$

Índice de acidez = $0.5555 \times 1.99 = 1.105$ mg de KOH

6.2.2.4 Densidad relativa relativa

La densidad relativa es la relación entre el peso y el volumen de una sustancia a una temperatura y presión atmosférica definidas. La densidad se expresa en unidades de peso sobre unidades de volumen, ejemplo g/ml, kg/l, en el sistema métrico. Para determinar este parámetro se utilizó la norma NMX-F-075-SCFI-2012 que consiste en: determinar la masa a volúmenes iguales de agua y de aceite, mediante el uso de un picnómetro que se utilizarán para calcular la relación entre ambos valores, bajo condiciones específicas de temperatura a 20 °C para aceites y 40 °C para grasas y 60 °C para grasas sólidas. En la ilustración 15, se muestran la forma de determinar la densidad.

Ilustración 15 Determinación de densidad



Fuente: Autoría propia

El cálculo de densidad relativa se realizó mediante las siguientes expresiones:

$$G_1 = M_1 - M$$

$$G_2 = M_2 - M$$

$$\delta = \frac{G_1}{G_2}$$

Dónde:

M_1 = masa del picnómetro con muestra.

M_2 = masa del picnómetro con agua.

Obtención de biodiesel a partir de aceites usados en casa habitación de la comunidad del Refugio

M = masa del picnómetro vacío.

G₁ = masa neta del aceite o grasa.

G₂ = masa neta del agua.

En la tabla 7, se muestran los datos obtenidos en la determinación de la densidad.

Tabla 7 Datos obtenidos para determinar densidad relativa

No. De Prueba	M	M ₁	M ₂	G ₁	G ₂
1	33.6035	42.4420	43.1980	8.8385	9.5945
2	33.6035	42.4327	43.1980	8.8292	9.5945
3	33.6150	42.4270	43.1855	8.8120	9.5705

Fuente: Autoría propia

El cálculo de la densidad relativa para cada prueba se realizó de la siguiente manera:

Prueba 1

$$\delta = \frac{8.8385}{9.5945} = 0.9212$$

Prueba 2

$$\delta = \frac{8.8292}{9.5945} = 0.9202$$

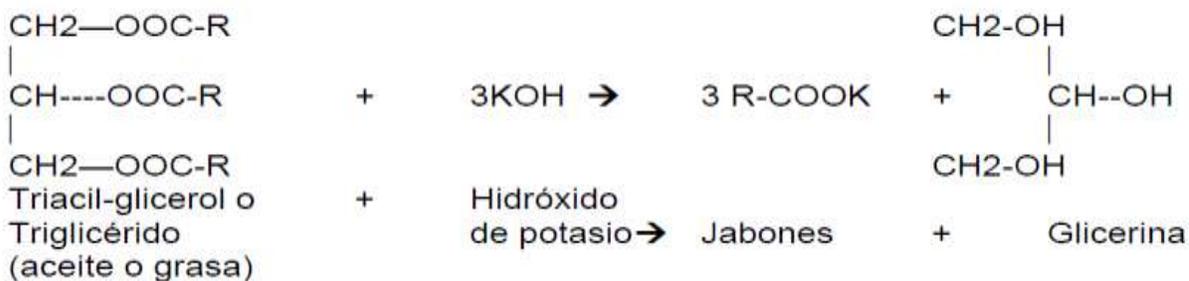
Prueba 3

$$\delta = \frac{8.8120}{9.5705} = 0.9207$$

6.2.2.5 Índice de saponificación

El índice de Saponificación se refiere a la cantidad de hidróxido de potasio expresado en miligramos, necesario para saponificar un gramo de aceite o grasa. Para determinar este parámetro se hizo referencia a la norma NMX-F-174- 2006 el método se basa en la reacción química de los tri-acilglicerol o triglicéridos con un álcali, formándose jabones o sales alcalinas de los ácidos grasos y glicerina. En la ilustración 16 se muestra el mecanismo de reacción.

Ilustración 16 Reacción de saponificación



Fuente: NMX-F-174, 2006

En la ilustración 17, se muestra el proceso seguido para determinar el índice de saponificación.

Ilustración 17 Determinación del índice de saponificación



Fuente: Autoría propia

El cálculo del índice de saponificación se realizó mediante la siguiente ecuación.

$$\text{Índice de saponificación} = \frac{B - M \times N}{P} \times 56.1$$

Donde:

B es el volumen, mL 0,5 N HCl requeridos para titular el blanco;

M es el volumen, mL 0,5 N HCl requeridos para titular la muestra;

N es la normalidad de la solución de HCl;

P es el peso de la muestra en gramos, y

56,1 es el equivalente del hidróxido de potasio.

En la tabla 8 se muestran los datos obtenidos para la determinación del índice de saponificación.

Tabla 8 Datos de la prueba de índice de saponificación

Muestra	P (g)	M (ml)	B (ml)
1	5	27	45
2	5	27.3	45
3	5	27.5	45

Fuente: Autoría propia

Considerando los datos obtenidos en la tabla 8 se calculó el índice de saponificación para cada prueba.

Muestra 1

$$\text{Índice de saponificación} = \frac{45 - 27 \times 0.5}{5} \times 56.1 = 100.98 \text{ mg de KOH}$$

Muestra 2

$$\text{Índice de saponificación} = \frac{45 - 27.3 \times 0.5}{5} \times 56.1 = 99.297 \text{ mg de KOH}$$

Muestra 3

$$\text{Índice de saponificación} = \frac{45 - 27.5 \times 0.5}{5} \times 56.1 = 98.175 \text{ mg de KOH}$$

6.3 Obtención de Biodiesel

El proceso de obtención de biodiesel se realizó mediante el proceso de transesterificación, el cual consiste en reaccionar el aceite usado de cocina con metanol en presencia de un catalizador básico (KOH, NaOH, etc.), debido a que el índice de ácidos grasos es relativamente bajo (menor al 1%). Dado que el tiempo para el término de este proyecto fue una condicionante se determinó evaluar la transesterificación para una relación Alcohol/aceite 6:1, ya que muchos autores mencionan que es la óptima para el proceso. También se decidió evaluar la transesterificación en un rango de temperatura de 30 a 60°C y una concentración de catalizador del 1%. Finalmente se decidió realizar el proceso de transesterificación en un periodo de reacción de 1 Hr. En la tabla 9 se presentan las condiciones experimentales utilizadas para realizar los ensayos.

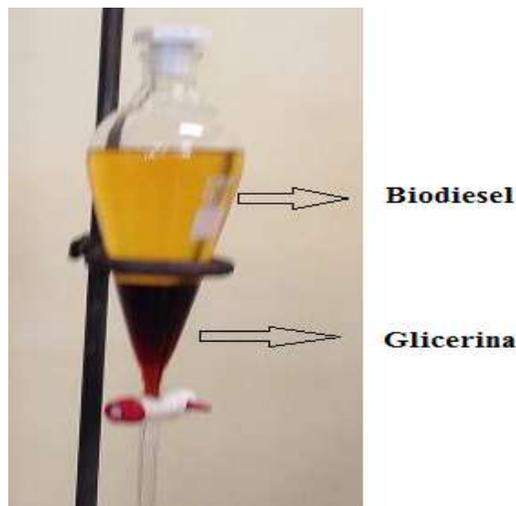
Tabla 9 Condiciones experimentales

Relación molar	Catalizador (1%)	Agitación	Tiempo de reacción	Temperatura			
				30°C	40°C	50°C	60°C
6:01	NaOH	600 rpm	1 Hr	30°C	40°C	50°C	60°C
	KOH						

6.5 Purificación del Biodiesel

Una vez establecida las condiciones óptimas de operación, se procedió a la obtención suficiente de biodiesel, para determinar las características físicas y químicas del biodiesel producido. En primer lugar se realizó la separación de la capa más ligera (biodiesel) de la glicerina, ver ilustración 18. Posteriormente los esteres metílicos se someten a un proceso de lavado con agua destilada por medio de atomización para eliminar restos de jabón, alcohol, catalizador, etc. hasta obtener una apariencia cristalina.

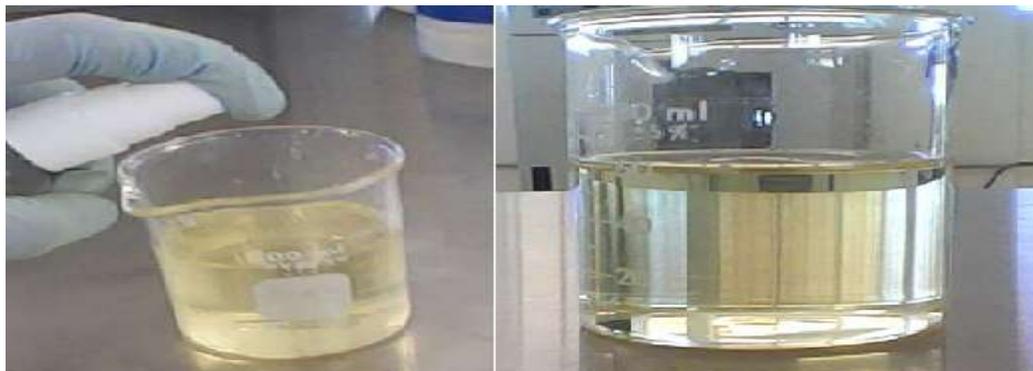
Ilustración 18 Separación de fases



Fuente: Autoría propia

En la ilustración 19, se muestra el procedimiento seguido para la purificación del biodiesel.

Ilustración 19 Lavado de Biodiesel



Fuente: Autoría propia

Una vez realizado el lavado, el biodiesel se sometió a un proceso térmico en un horno de aire caliente que puede alcanzar una temperatura máxima de 200°C, con la finalidad de eliminar material volátil y agua que afectan el proceso de combustión del biocombustible. La temperatura utilizada para asegurar la eliminación de humedad fue de 110°C en un periodo máximo de 4 horas hasta que no se notará la generación de burbujas en el fondo del recipiente.

Obtención de biodiesel a partir de aceites usados en casa habitación de la comunidad del Refugio

El último paso realizado para la purificación del biodiesel consistió en filtrar el biodiesel con un filtro Whatman del número 40 con la ayuda de alto vacío para acelerar el proceso de filtrado, tal como se muestra en la figura 17.

Ilustración 20 Filtrado de Biodiesel



Fuente: Autoría propia

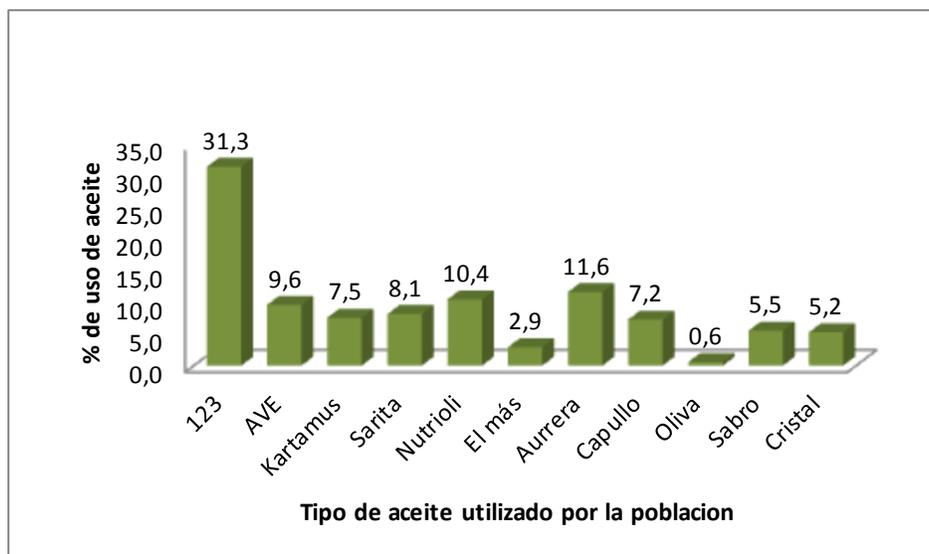
VII RESULTADOS

7.1 Análisis de la encuesta realizada.

De acuerdo con el resultado de las encuestas aplicadas a las casas seleccionadas se obtuvieron los siguientes resultados al realizar el análisis correspondiente:

Se encontró que en promedio una familia está integrada por 4 personas, y que destinan \$24.14 M.N, del mandado semanal para comprar aceite comestible. Las marcas de aceite vegetal más usadas por la población son: 123, Aurrera, nutrioli, etc. Ver la gráfica 1.

Gráfica 1 Aceites consumidos por la población

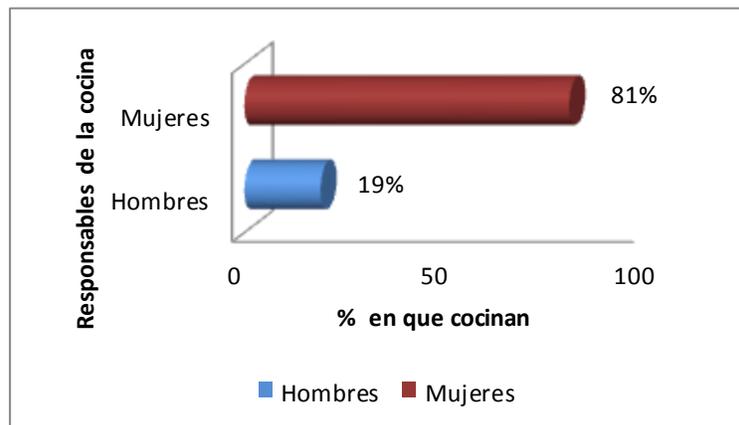


Fuente: Autoría propia

Los resultados de la encuesta muestran que quienes cocinan en su mayoría son las mujeres en un 81% y los hombres en un 19% como se muestra en la gráfica 2, y que por lo tanto son las encargadas de dar la disposición final aceite usado. Este dato también nos sirve para identificar la forma en como debe ser redactada la campaña de difusión, ya que en su mayoría debería estar dirigida hacia las mujeres.

Obtención de biodiesel a partir de aceites usados en casa habitación de la comunidad del Refugio

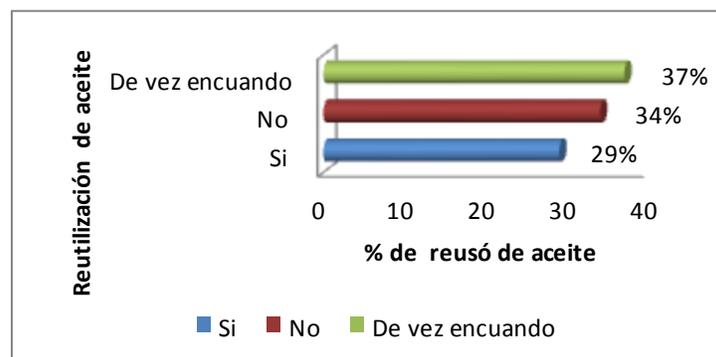
Gráfica 2 Responsables de la cocina



Fuente: Autoría propia

El análisis de los resultados muestra que el 34% de la población no reutiliza el aceite para volver a cocinar, mientras que el 37% lo utiliza de vez en cuando, y 29% lo utiliza 2 veces en promedio (ver gráfica 3). Esta información es de suma importancia, ya que nos indica que algunos problemas de salud en esta población pueden ser ocasionados por la reutilización del aceite y que la materia prima (aceite usado) que se utilizará para la obtención de biodiesel tendrá un bajo contenido de ácidos grasos libres, dado que no es muy reutilizado.

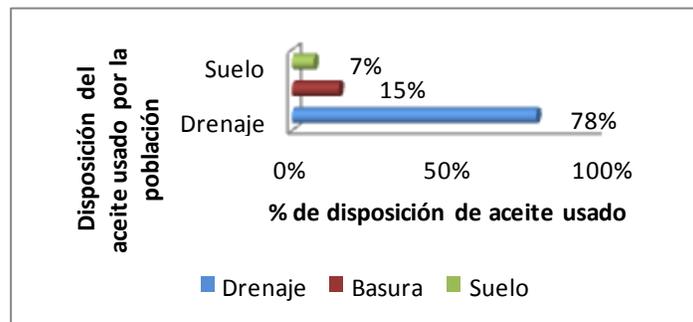
Gráfica 3 Reutilización de aceite



Fuente: Autoría propia

En cuanto a la disposición final del aceite el 78% de la población encuestada desecha el aceite usado en el drenaje contribuyendo a una mayor contaminación del agua. El 15% lo guarda en una bolsa o recipiente y lo deposita en la basura, mientras que el 7% lo deposita en el suelo, estos datos se pueden apreciar la gráfica 4.

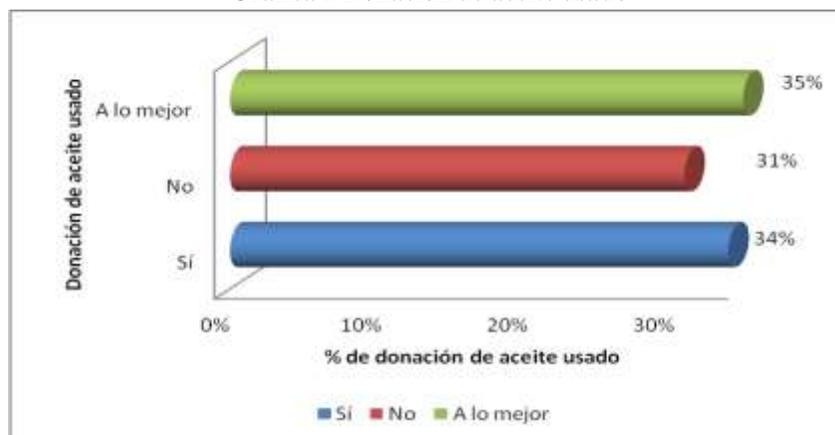
Gráfica 4 Disposición final de aceite usado



Fuente: Autoría propia

También se encontró que el 31% de la población encuestada está dispuesta a donar el aceite utilizado en sus cocinas, mientras que el 34% no están dispuestos a donar su aceite y el 35% se encuentran indecisos, ver gráfica 5.

Gráfica 5 Donación de aceite usado

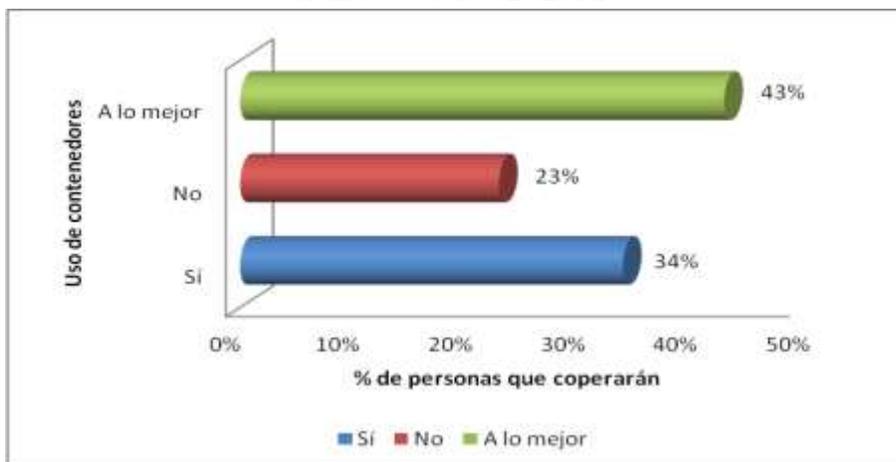


Fuente: Autoría propia

Otras de las preguntas que se hicieron en el cuestionario fue investigar, que tan dispuesta estaría la población que no quiere cooperar con el proyecto de recolección de aceites usados, si se colocan contenedores para disponer los residuos de aceite generados en su casa. Bajo estas condiciones el 8% que no quería participar respondió que a lo mejor participarían, reduciendo la población que respondió que no a un 23%, ver gráfica 6.

Obtención de biodiesel a partir de aceites usados en casa habitación de la comunidad del Refugio

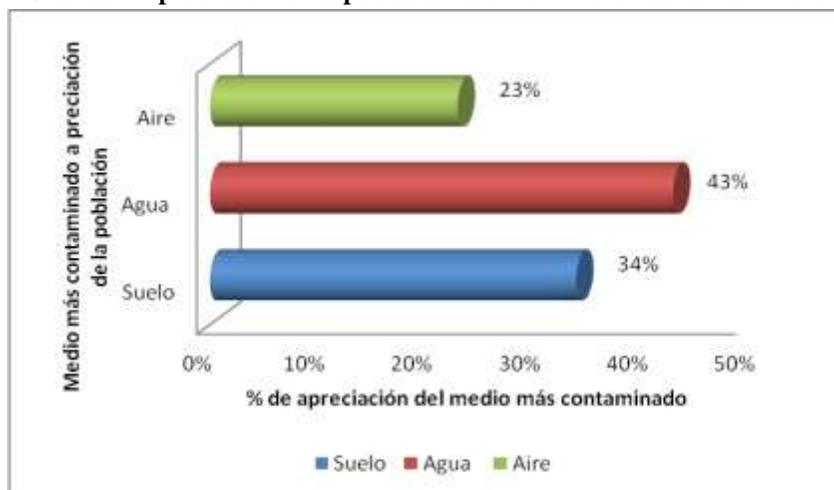
Gráfica 6 Uso de contenedores



Fuente: Autoría propia

También se indagó si la gente encuestada conocía que el aceite es un contaminante. El 96% de la población sabe que el aceite es un contaminante y el 4% no lo sabía. Del 96% el 34% dijo que el aceite contamina el suelo, 43% el agua y el 23% mencionó que contamina el aire, tal como se muestra en la gráfica 7.

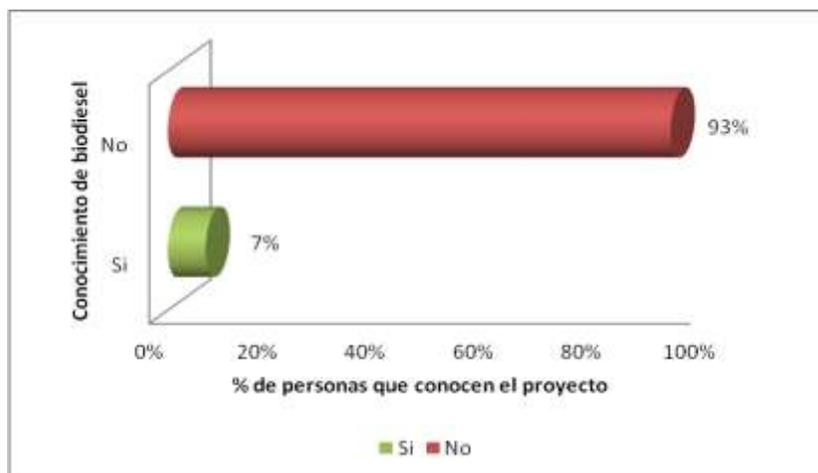
Gráfica 7 Apreciación de la población sobre el medio más contaminado



Fuente: Autoría propia

Por último se encontró que el 93% de la población no sabe lo que es el biodiesel y los beneficios ambientales que genera, tal como se muestra en la gráfica 8.

Gráfica 8 Conocimiento y beneficios del Biodiesel



Fuente: Autoría propia

7.2 Plan de recolección

Se llevó a cabo el plan piloto de recolección de aceites usados en casa-habitación en la comunidad El Refugio. Seleccionando 50 casas dispuestas a cooperar con la donación de aceites, considerando que la respuesta a cooperar en la donación del mismo era afirmativa en la encuesta aplicada. En la ilustración 21, se puede apreciar la ubicación de estos hogares.

Ilustración 21 Mapa con ubicación casas-habitación plan piloto



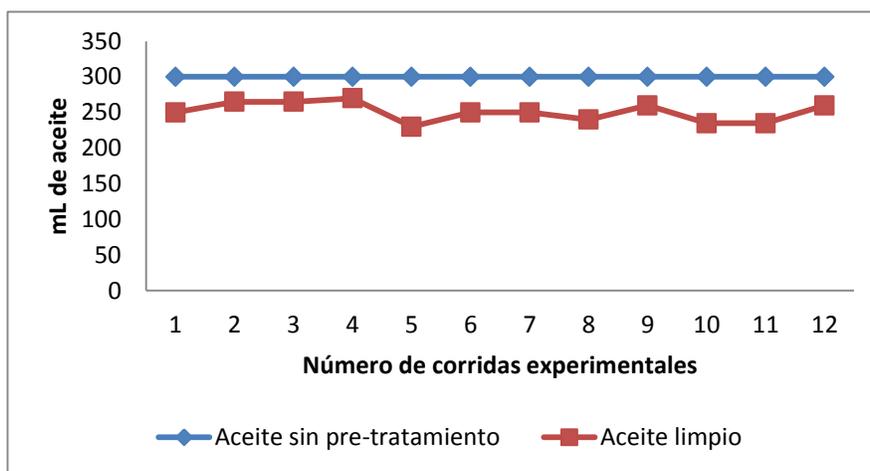
Fuente: Autoría propia

Mediante la aplicación de este plan de recolección se determinó que se pueden recolectar 4,758 mL de aceite de forma semanal por cada 50 casas.

7.3 Pretratamiento

Del pretratamiento se obtuvieron los siguientes resultados, por cada 3600 ml de aceite tratado se recuperan 3010 ml de aceite limpio y seco. Obteniendo un 83% de recuperación, en la gráfica 9 se muestran doce corridas realizadas cada una con una entrada de 300 ml, además de color rojo se muestra la cantidad de aceite obtenido después de cada pretratamiento.

Gráfica 9 Cantidad de aceite lavado



Fuente: Autoría propia

7.4 Caracterización del aceite

En total se determinaron 6 parámetros para establecer si el aceite cuenta con las condiciones requeridas para ser utilizado como materia prima para la producción de biodiesel, dentro de estos parámetros se encuentran la humedad, densidad, índice de acidez, contenido de jabón, índice de saponificación e índice de yodo. En la tabla 11, se muestra el valor promedio obtenido de las 3 réplicas realizadas de cada uno de los parámetros determinados. Además se incluye un comparativo con Pedro Nel Bejumbea, 2003, que hace referencia a los parámetros establecidos para el aceite de girasol, ya que es el aceite de mayor presencia en el aceite usado, de acuerdo con la encuesta realizada.

Obtención de biodiesel a partir de aceites usados en casa habitación de la comunidad del Refugio

Tabla 10 Resultado de la caracterización de aceite

Parámetro	Norma de referencia	Resultado	Autor de referencia
Humedad	NMX-F-211-SCFI-2006	0.0039%	—
Densidad relativa	NMX-F-075-SCFI-2012	0.9207	0.917
Índice de acidez	NMX-F-101-2006	0.9786	< 2%
% ácidos grasos libres	NMX-F-101-2006	0.49%	0.5%
Contenido de jabón	NMX-F-492-SCFI-2009	0 %	—
Índice de saponificación	NMX-F-174-2006	99.484 mg de KOH	190 mg de KOH
Materia insaponificable	NMX-K-306-SCFI-2006	0.258%	<1.5%

Fuente: Autoría propia

En la tabla 10, se muestra que el contenido de humedad es relativamente bajo por lo que se puede considerar que no contiene humedad. Este es un parámetro de suma importancia ya que la presencia de humedad disminuye el rendimiento de la reacción, pues el agua reacciona con el catalizador formando jabón. Los jabones son perjudiciales porque contaminan el producto final, y porque forman emulsiones muy estables. Por esto, debe asegurarse la menor cantidad de agua posible durante el proceso, lo cual implica un secado del aceite, con mayor exigencia cuando se utiliza aceite usado.

Los análisis del índice de acidez y % de ácidos grasos libres, muestran valores bajos, cuanto mayor son estos valores aumenta la posibilidad de que reaccionen con el catalizador y disminuya la eficiencia de la reacción de transesterificación. Debido a que el valor de índice de acidez no pasa del 2% (Sharma, Singh, & Upadhyay, 2008), no es necesario realizar un pre-tratamiento ácido y se puede pasar al proceso de transesterificación.

El contenido de jabón, constituye un parámetro que valora la calidad del aceite o grasa. Se dice que si un aceite no contiene jabón posee buena calidad, en este caso el aceite analizado es de buena calidad.

El índice de saponificación se refiere a la probabilidad de que un aceite o una grasa se transforme en jabón, por lo que, entre más alto el índice de saponificación mayor la probabilidad de presencia de jabón en el producto final de la transesterificación. El resultado obtenido del índice de saponificación presenta una disminución de casi el 50% en comparación con el índice del aceite de mayor presencia en la materia prima utilizada en este proyecto. Este resultado permite intuir que nuestro rendimiento en la obtención de biodiesel será alto como consecuencia del bajo índice de jabón.

La materia insaponificable se refiere aquella que no son triglicéridos o ácidos grasos libres, más bien conocido como gomas. Comprenden una gran variedad de sustancias como: polipéptidos, fosfátidos, lecitina, proteínas, mucilágenos y esteroides. La presencia de estas sustancias trae como consecuencia la formación de sustancias indeseables que pueden ocasionar inconvenientes en los motores (Demirbas, 2009). Dado que el aceite de girasol refinado presenta un valor menor de 1.5%, el valor encontrado se encuentra por debajo de 0.5 %. Por estas razones se puede considerar que el tratamiento aplicado al aceite fue adecuado ya que se redujo considerablemente el porcentaje de materia in saponificable.

En general, se puede determinar que el proceso de pre-tratamiento realizado es adecuado, ya que la mayoría de los parámetros medidos son similares o se encuentran por debajo del valor referenciado para el aceite de mayor presencia en la materia prima (girasol). También se puede determinar que no es necesario realizar un pre-tratamiento ácido para eliminar ácidos grasos libres, ya que el valor obtenido se encuentra por debajo del 2%.

7.5 Obtención de biodiesel

7.5.1 Diseño experimental

Para realizar los experimentos se utilizó un equipo ó reactor de laboratorio constituido por una plancha calefactora con agitación magnética y regulador de temperatura, un matraz de dos bocas esmerilado de 24/40 sumergido en un baño de agua, en una de las bocas se coloca un termómetro y en la otra un refrigerante para evitar la pérdida de metanol, como consecuencia de la evaporación. En la ilustración 22 se muestra el equipo utilizado para la obtención de biodiesel.

Ilustración 22 Reactor para transesterificación



Fuente: Autoría propia

El proceso de transesterificación consiste en calentar el aceite a la temperatura elegida y mantener la agitación a 600 rpm. Una vez alcanzada la temperatura se agrega la mezcla de alcohol y catalizador que concuerden con la relación molar alcohol/aceite seleccionada para la corrida experimental, y el catalizador al 1% con respecto a la cantidad de aceite. Para cada corrida se utilizaron 250 ml de aceite pre-tratado.

Por falta de tiempo ya no se realizó el diseño experimental completo, tal como se indicó en la metodología. Sólo se realizó la corrida experimental para una relación molar alcohol/aceite 6:1, ya que varios autores como Veljkovic y sharma 2008 mencionan que es la relación óptima. También se realizaron los experimentos en un rango de temperatura de 30 a 80°C, al mismo tiempo se trabajó con una agitación de 600 rpm tomando como referencia los resultados reportados por Meher, 2006. El tiempo eligido para cada corrida experimental fue de una hora, tal como lo menciona Loaiza,2003.

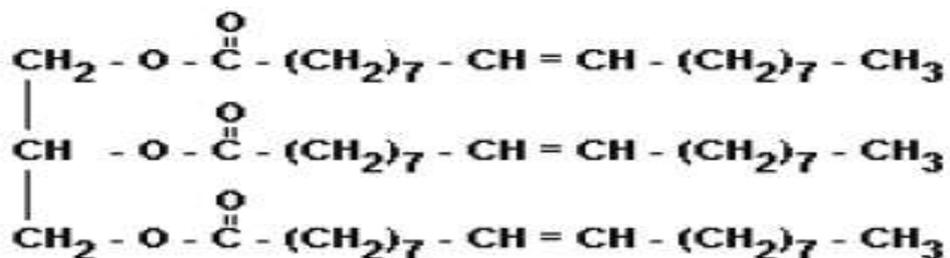
El cálculo correspondiente para obtener la masa requerida de aceite y catalizador se realizó considerando que el ácido oleico es el principal componente del aceite que más consume la población del refugio, además también se tomó como base el cálculo realizado por (ARIAS, 2012).

A continuación se describen como se realizaron los cálculos para la relación molar aceite/alcohol.

Para realizar el cálculo se tomó como base que el ácido graso de mayor presencia es el oleico, debido que los aceites que se encuentran en el aceite usado son los elaborados a base de maíz. En la figura 19 se muestra la molécula de la trioleína constituida a base de ácido oleico.

Figura 19 Molécula de la trioleína

Ilustración 23 Molécula de Trioleína



Fuente: (ARIAS, 2012)

Obtención de biodiesel a partir de aceites usados en casa habitación de la comunidad del Refugio

Para realizar el cálculo se consideró que el peso molecular de la trioleína es de 885.51 g/mol y para el metanol un peso molecular de 32 g/mol, así como, una densidad para el aceite de 0.9207 g/ml obtenida en la determinación de las características físicas de la materia y una densidad para el metanol de .7914 g/ml. También se considera que para cada corrida se utilizaron 250 ml de aceite.

Por lo tanto, la masa requerida para una relación molar aceite/alcohol de 6:1 se obtiene de la siguiente manera:

Aceite:

$$m = (PM)n = (885.51g / mol)(1mol) = 885.51g$$

Alcohol

$$m = (PM)n = (32g / mol)(6mol) = 192g$$

Después de esto se establece la siguiente relación, para que se cumpla la relación 6:1 se requiere que reaccionen 885.51 g de aceite con 192 g de alcohol ambos expresados en términos de masa. Para expresarlos en término de volumen cada cantidad se divide por su densidad.

$$V_{\text{alcohol}} = \frac{192g}{.7914g / mol} = 242.60ml$$

$$V_{\text{aceite}} = \frac{885.51g}{.9207g / mol} = 961.77ml$$

Por lo tanto, se necesitan 961.77 ml de aceite para que reaccionen con 242.60 ml en una relación molar Alcohol aceite de 6:1, para cada prueba se utilizaron 250 ml entonces, por lo tanto, el cálculo de alcohol se realizó de la siguiente manera:

$$ml_{\text{alcohol}} = \frac{242.60ml}{961.77ml} \times 250ml = 63.06ml$$

Dado que la cantidad de catalizador se utiliza al 1% con respecto a la cantidad de aceite usado (230.175 g), la cantidad de catalizador usada es de 0.23 g.

Obtención de biodiesel a partir de aceites usados en casa habitación de la comunidad del Refugio

En la tabla 11 y 12, se presentan los resultados obtenidos en las corridas experimentales mencionadas con anterioridad, donde se indican la cantidad de aceite y catalizador utilizado, la relación molar alcohol/aceite, la temperatura de trabajo, así como, la cantidad de biodiesel y glicerina obtenida. El cálculo del rendimiento de biodiesel se realizó usando la siguiente ecuación:

$$\text{Rendimiento de biodiesel} = \frac{\text{Biodiesel}}{\text{Aceite} \oplus \text{alcohol}} \times 100$$

Tabla 11 Obtención de biodiesel con NaOH

Corridas	Aceite(ml)/ catalizador (g)	Relación molar alcohol/ aceite	Temperatura (°C)	Biodiesel (ml)	Rendimiento (%)
1	250/2.3	6:1	30	268	85.60
2		6:1	40	271	86.56
3		6:1	50	273	87.20
4		6:1	60	275	87.84

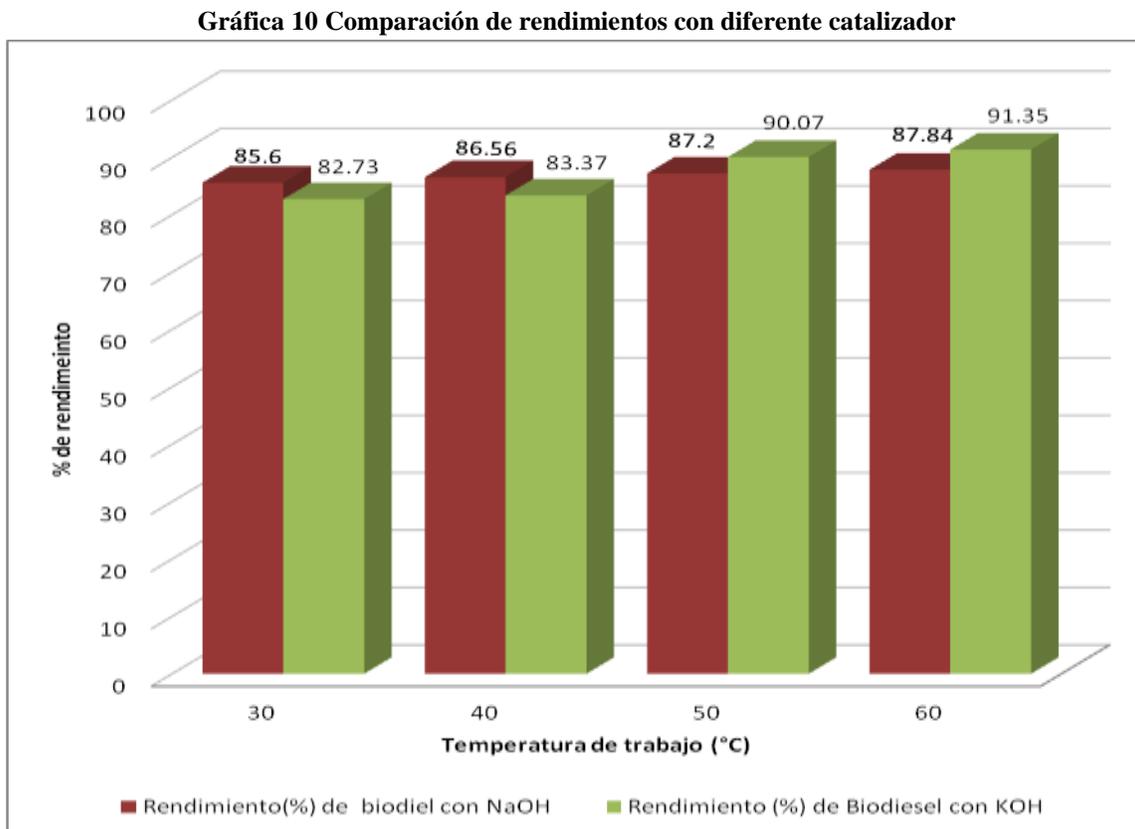
Fuente: Autoría propia

Tabla 12 Obtención de Biodiesel con KOH

Corridas	Aceite(ml)/ catalizador (g)	Relación molar alcohol/ aceite	Temperatura (°C)	Biodiesel (ml)	Rendimiento (%)
1	250/2.3	6:1	30	259	82.73
2		6:1	40	261	83.37
3		6:1	50	282	90.07
4		6:1	60	286	91.35

Fuente: Autoría propia

En el gráfica 10, se realiza una comparación de los rendimientos obtenidos en la producción de biodiesel utilizando hidróxido de potasio e hidróxido de sodio.



Fuente: Autoría propia

Con base en el análisis de los resultados se puede concluir que el catalizador que presenta un mayor rendimiento es el hidróxido de potasio, en comparación con el hidróxido de sodio y que además la capa de glicerina obtenida a partir de la transesterificación con potasio es más cristalina y presenta uno menor cantidad de residuos visibles. También se puede concluir que a medida que se aumenta la temperatura aumenta el rendimiento de obtención de biodiesel.

7.5.2 Análisis de costos

Obtención de biodiesel a partir de aceites usados en casa habitación de la comunidad del Refugio

El costo de producción de biodiesel a escala de laboratorio se realizó considerando que los reactivos utilizados son de grado analítico.

En la tabla 13 se observa los siguientes costos de los reactivos que intervienen en el proceso de obtención de biodiesel.

Tabla 13 Costos de insumos y reactivos en la producción de Biodiesel

Insumos	Cantidad	Precio unitario (\$)	Cantidad usada	Precio total (\$)
Aceite usado	1L	0	0.25 L	0
Metanol	1L	79.75	0.06306L	5.029
KOH	1 Kg	416	0.0023Kg	0.9568
Energia (kW-h), transesterificación	1 KWh	0.86	1	0.86
Energia (kW-h), Pre-tratamiento	1	0.86	4	3.44
Agua destilada	1	5.5	0.15	0.825
CostosTotal				\$9.4993

Fuente: Autoría propia

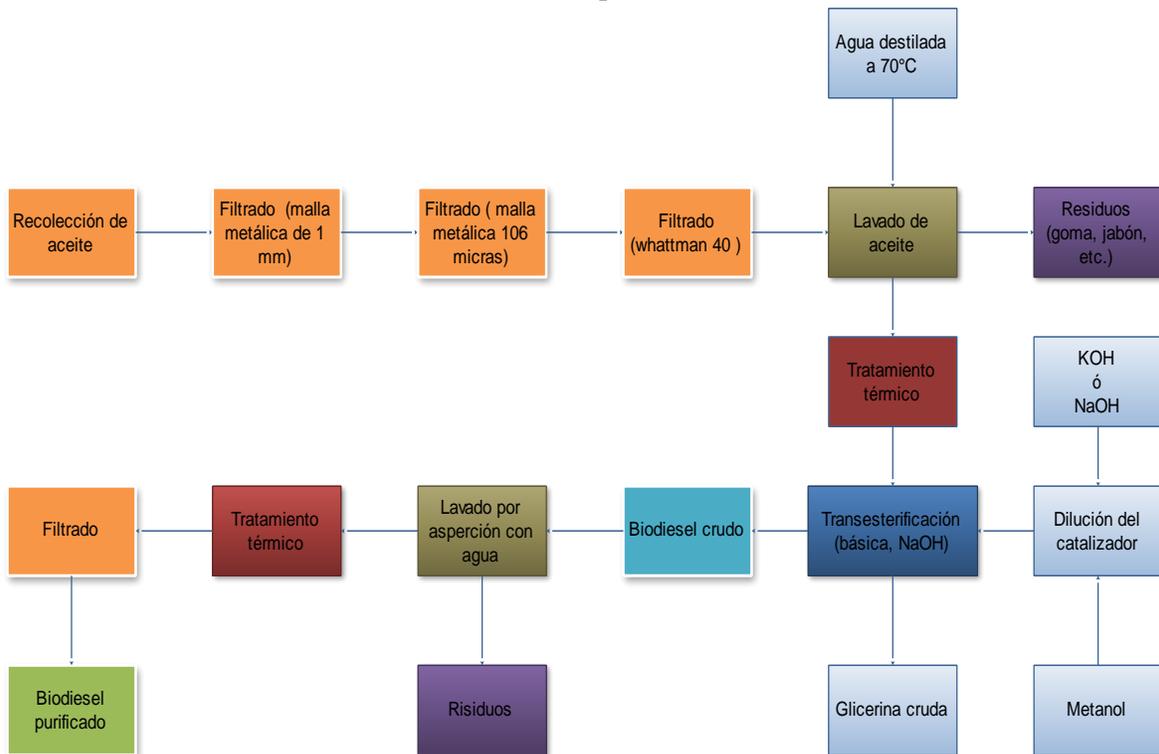
Considerando resultados mostrados en la tabla 15, se puede decir que el costo de un litro de biodiesel tiene un precio en promedio de \$ 37.9972.

7.5.3 Metodología sugerida para la producción de biodiesel

Tomando como base cada una de las técnicas utilizadas para la elaboración de biodiesel a partir de aceites usados se determinó que la metodología que se debe seguir para la producción del biocombustible, es la que se presenta en la ilustración 24.

Obtención de biodiesel a partir de aceites usados en casa habitación de la comunidad del Refugio

Ilustración 24 Proceso de producción de Biodiesel



Fuente: Autoría propia

La metodología consiste en realizar la recolección de aceites usados de casa habitación, posteriormente aplicar un pre-tratamiento de carácter físico a la materia prima, mediante un proceso de filtración. Este proceso consiste en eliminar en primer lugar la materia sólida de mayor tamaño mediante el uso de una malla metálica de 1 mm con número Mesh de 18, posteriormente el filtrado se pasa por otro filtro de malla metálica de número Mesh de 140 ó 106 micrómetros. Finalmente el segundo filtrado se hace pasar por un filtro whattman del 40 para eliminar el resto de material que no puede ser eliminado por el resto de los filtros.

El siguiente paso en el proceso consiste en realizar un lavado al aceite filtrado con agua destilada a 70°C con la finalidad de quitar exceso de goma y otros componentes presentes en el aceite. Agregando una tercera parte de agua con respecto a la cantidad de aceite, se agita vigorosamente y se deja reposar por un período aproximado de 12 a 24 horas. Al final de este proceso se obtiene aceite limpio y libre de goma.

Una vez eliminada la goma al aceite, se precede a aplicar un proceso térmico a la materia prima para eliminar la humedad presente como consecuencia del proceso de lavado, y que puede afectar el proceso de transesterificación. El proceso térmico consiste en calentar el aceite en un horno de aire caliente a 110°C durante un periodo de dos horas.

El aceite pre-tratado se pasa al proceso de transesterificación básica, dado que el índice de acidez no rebasa el 2% y no requiere transesterificación ácida como pre-tratamiento. La relación molar alcohol/aceite elegida para este proceso es 6:1 considerando los resultados experimentales, también se terminó una temperatura ideal de 60°C y una agitación de 600 rpm.

Una vez realizada la reacción transesterificación los productos se pasaron a reposo durante un periodo de 24 horas para separar el biodiesel capa más ligera de la glicerina y resto de los residuos.

El biodiesel se somete a un proceso de pos-tratamiento mediante un lavado con agua acidulada con ácido acético a 0.1 M, se realizan dos lavados en promedio hasta que el biodiesel toma una apariencia clara. Finalmente los esteres metílicos se someten a un proceso térmico para eliminar el exceso de agua y se filtran.

VIII CONCLUSIONES

8.1 conclusiones

Con base en la información obtenida se estableció que los aceites más usados por la población del refugio están elaborados a base de ácido oleico. También se estableció que el 34% de la población no reutiliza el aceite para volver a cocinar, mientras que el 37% lo utiliza de vez en cuando, y 29% lo utiliza 2 veces en promedio, esto indica que el aceite no tendrá un elevado índice de acidez. En cuanto a la disposición final del aceite el 78% de la población encuestada desecha el aceite usado en el drenaje contribuyendo a una mayor contaminación del agua. El 15% lo guarda en una bolsa o recipiente y lo deposita en la basura, mientras que el 7% lo deposita en el suelo.

Se estableció un plan de recolección mediante la aplicación de una encuesta a 345 hogares de una población 1536 casas con una confianza del 95% tal como lo indica la norma NMX-AA-061-1985. Con base en la información obtenida en la encuesta se determinó que lo más conveniente para el proyecto era establecer un plan piloto de recolección dado que sólo el 31% de la población está dispuesta a cooperar para donar su aceite, mientras que el resto no está de acuerdo o están indecisos. El plan piloto de recolección se estableció para las 50 casas de las dispuestas a donar su aceite. Mediante este programa piloto se estableció que por cada 50 casas se obtienen 4,758 mL de forma semanal, y si este plan se hace extensivo para las 1536 casas se pueden recolectar 146 litros de aceite. Por lo tanto se puede considerar que el primer y segundo objetivo específico se cumplió satisfactoriamente.

Con respecto a la caracterización de la materia prima se determinaron 8 parámetros físicos y químicos entre los que destacan la humedad, densidad relativa, % de ácidos grasos libres, índice de acidez, índice de saponificación, contenido de jabón, materia insaponificable e índice de Yodo. Mediante estos datos se terminó que la materia prima puede ser usada para el proceso de transesterificación, ya que la mayoría de los parámetros obtenidos son similares a los de otros autores o a los del

girasol, ya que es el aceite de mayor presencia en la materia prima. También se determinó que el proceso que se debía utilizar para la obtención del biodiesel es la transesterificación básica debido a que el índice de ácidos grasos libres se encuentra por debajo del 2%. Con respecto a este objetivo específico se puede decir que se cumplió al 100%.

La producción de biodiesel se utilizó la transesterificación básica, por cuestiones de tiempo no se realizó el diseño experimental completo, debido a que por cada prueba se requieren de 3 a 4 horas y para cumplir con lo establecido se requiere realizar 144 pruebas. Por estas razones se terminó realizar la transesterificación con una relación molar alcohol/aceite de 6:1 en un rango de temperatura de 30 a 60°C y 1% de catalizador con relación al aceite, tanto para el KOH como para el NaOH. Bajo estas condiciones se determinó que a medida que aumenta la temperatura el rendimiento de biodiesel es mayor y que con estas condiciones a 60°C se tiene un mayor rendimiento y el catalizador que da mejores resultados es el hidróxido de potasio, ya que la glicerina obtenida puede ser refinada de forma fácil.

El rendimiento de biodiesel bajo las condiciones establecidas está por encima del 90% a una temperatura de 60°C y usando KOH como catalizador, por lo que se puede concluir que la hipótesis planteada se cumplió satisfactoriamente ya que el rendimiento supera el 70%, y por lo tanto cada una de las técnicas elegidas son adecuadas para el proceso de transesterificación.

IX RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar una campaña de concientización para dar a conocer los beneficios del proyecto, que contribuya a aumentar la participación de la población en la donación del aceite.

Realizar el análisis experimental completo para poder determinar con mayores argumentos la relación molar, el catalizador y la cantidad que dan un mayor rendimiento.

Cuando se usen lotes diferentes, realizar una prueba de acidez al aceite para poder determinar que el aceite tiene las mismas características.

Realizar un estudio de cromatografía de gases para identificar la calidad del biodiesel.

Continuar con la caracterización del biodiesel haciendo referencia a normas internacionales como las ASTM.

X BIBLIOGRAFIA

- Ballesteros, M. (Julio de 2008). Los biocarburantes.
- Barriga, E. A. (2011). *Diseño de módulo de transesterificación de una planta piloto para producción de biodiesel a partir de aceites usados de cocina*. Facultad de Ciencias e Ingeniería, Ingeniería Mecánica. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú .
- Bejumbea, N. P., Agudelo, J. R., Zapata, P. A., & Mendoza, R. E. (2003). Biodiesel. Una revisión del proceso de obtención mediante la transesterificación de aceites vegetales. *Energetica*, 9-18.
- Bejumbea, P. N., Agudelo, J. R., & Ríos, L. A. (2009). *Biodiésel: Producción calidad y caracterización*. Medellín: Editorial Universidad de Antioquia.
- Castro, Paula; Castillo, Liliana; Nazario, Mirtha; Coello , Javier; Calle , José ;. (s.f.). *PRODUCCIÓN DE BIODIESEL A PEQUEÑA ESCALA A PARTIR DE ACEITES USADOS EN LA CIUDAD DE LIMA*. Obtenido de u-cursos.cl: https://www.u-cursos.cl/usuario/df5be41ab8ea6408d7d758b6c4d98ae3/mi_blog/r/aceitesusados.pdf
- Coviello, M. (1998). FINANCIAMIENTO Y REGULACIÓN DE LAS FUENTES DE ENERGÍA NUEVAS Y RENOVABLES: EL CASO DE LA GEOTERMIA. Santiago de Chile, Chile. Obtenido de <http://www.cepal.cl/publicaciones/xml/3/4503/lcl1162e.pdf>
- Demirbas, A. (2009). Progress and recent trends in biodiesel fuels. *Energy Conversion and Management*, 14-34.
- Dorado MP, B. E. (2002). An alkali-catalyzed. *Trans ASAE*, 45, 525-529.
- economía, S. d. (1985). *NMX-AA-061-1985 Protección al Ambiente - Contaminación del Suelo- Residuos Sólidos Municipales- Determinación de la Generación*. México: Diario Oficial de la Federación.
- ECONOMÍA, S. D. (24 de JULIO de 2006). NMX-F-174-SCFI-2006 ALIMENTOS – ACEITES Y GRASAS VEGETALES O ANIMALES – DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE SAPONIFICACIÓN – MÉTODO DE PRUEBA. MÉXICO, D.F.
- ECONOMÍA, S. D. (24 de JULIO de 2009). NMX-F-492-SCFI-2009 ALIMENTOS – ACEITES Y GRASAS VEGETALES – DETERMINACIÓN DE CONTENIDO DE JABÓN-MÉTODO DE PRUEBA. México, D.F.
- ECONOMÍA, S. D. (10 de MAYO de 2012). NMX-F-075-SCFI-2012 ALIMENTOS – ACEITES Y GRASAS VEGETALES O ANIMALES DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD RELATIVA – MÉTODO DE PRUEBA. MÉXICO, D.F.

Obtención de biodiesel a partir de aceites usados en casa habitación de la comunidad del Refugio

- ECONOMÍA, S. D. (17 de SEPTIEMBRE de 2012). NMX-F-101-SCFI-2012 ALIMENTOS – ACEITES Y GRASAS VEGETALES O ANIMALES – DETERMINACIÓN DE ÁCIDOS GRASOS LIBRES - MÉTODO DE PRUEBA. MÉXICO, D.F.
- Fenández, J. M. (2009). *Tecnología de las energías renovables*. Madrid: Mundi - Prensa.
- Freedman B, B. R. (1986). Transesterification kinetics of soybean oil. *J Am Oil Chem Soc*, 1375, 80.
- Garrido, S. M. (Mayo de 2010). Tecnología, territorio y sociedad. Producción de biodiesel a partir de aceites usados. *Revista de Ciencias Sociales*, 37, 75-86.
- Haupt, J., Bockey, D., & Wilharm, T. (Septiembre de 2010). Recommendations for a Mexican biodiesel standard and the infrastructure required for its handling. México, D.F., D.F, México. Obtenido de www.energia.gob.mx
- HERVÉ, J. (2007). *Diseño conceptual de una planta de biodiésel*. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Santiago de Chile: Universidad de Chile.
- INEGI. (2012). Censo de Población y Vivienda 2010. Tijuana, Baja California, México.
- Kusdiana, D., & Saka, S. (2004). Effects of water on biodiesel fuel production by supercritical methanol treatment. *Bioresour Technol*, 91, 289-295.
- Lafont, J. J., Páez, M. S., & Torres, Y. C. (2011). Análisis Químico de Mezclas Biodiesel de Aceite de Cocina Usado y Diesel por Espectroscopia Infrarroja. *Información Tecnológica*, 35- 42.
- Leung, D., & Guo, Y. (2006). Transesterification of neat and used frying. *Fuel Process Technol*, 87, 883-890.
- LOAIZA, F. E. (2003). CINÉTICA DE LA REACCIÓN DE TRANSESTERIFICACIÓN DEL ACEITE DE HIGUERILLA EN LA OBTENCIÓN DE BIODIESEL. MANIZALES.
- Marchetti, J. M., & Errazu, A. (2007). Possible methods for biodiesel production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 1300-1311.
- Medina, J., Camarillo, G., & Ramírez, J. (2011). Método para monitorear el rendimiento y contenido de metil-ésteres en el biodiesel usando la espectroscopia vibracional IR. *Acta Universitaria*, 27-32.
- Meher, L., Dharmagadda, V., & Naik, S. (2006). Optimization of alkali-catalyzed transesterification of Pongamia pinnata oil for production of biodiesel. *Bioresour Technol*, 97, 1392-1397.
- Mohan, D., Pittman, J. C., & Steele, P. (2006). Pyrolysis of wood/biomass for bio-oil: a critical review. *Energy Fuels*, 20, 848–889.

Obtención de biodiesel a partir de aceites usados en casa habitación de la comunidad del Refugio

- Parawira, W. (2010). Biodiesel production from *Jatropha curcas*: A review. *Scientific Research and Essays*, 5, 1796-1808.
- Piloto, R. (2010). DETERMINACIÓN DE LA INFLUENCIA DEL USO DE BIODIÉSEL EN EL FUNCIONAMIENTO DE MOTORES DIÉSEL. *CENIC Ciencias Químicas*, 41, 57-58.
- Querini, C. A. (2007). *BIODIESEL: PRODUCCIÓN Y CONTROL DE CALIDAD*. Recuperado el 30 de Abril de 2013, de ACSOJA: http://www.acsoja.org.ar/images/cms/contenidos/439_b.pdf
- Rincón, N., & César, P. (2010). Fuentes convencionales y no convencionales de energía: estado actual y perspectivas. *Ingeniería e Investigación*, 30, 165-173.
- S.N. Naik, D. V. (2006). Technical aspects of biodiesel production by transesterification—a review. *Renewable and sustainable energy reviews*, 248-268.
- SAGARPA. (13 de Junio de 2011). *Bioenergéticos.gob.mx*. Recuperado el 24 de Mayo de 2013, de <http://www.bioenergeticos.gob.mx/index.php/biodiesel/balance-ecologico.html>
- Secretaría de economía. (2006 de Febrero de 2006). NMX-F-211-SCFI-2006 Alimentos. Aceites y Grasas Vegetales ó Animales- Determinación de humedad o materia Volátil- Método de prueba. México, D.F.
- SENER, S. d. (2006). Energías Renovables para el desarrollo sustentable. México.
- Sharma, Y. C., Singh, B., & Upadhyay, S. N. (2008). Advancements in development and characterization. *ELSEVIER*, 87, 2355–2373.
- Srivastava A, P. R. (2000). Triglycerides-based diesel fuels. *Renew Sustain Energy*, 111-33.
- Van Gerpen, J., Shanks, B., Pruszko, R., & Clements, D. (2004). *Biodiesel Production Technology*. Office of Scientific and Technical Information, Department of Energy. National Renewable Energy Laboratory.

Obtención de biodiesel a partir de aceites usados en casa habitación de la comunidad del Refugio

ANEXOS

Anexo 1 tabla de números aleatorios

1680	1105	286	1385	1676	958	1355	1650
984	828	394	73	676	1615	806	1297
834	1847	1067	1115	1614	1431	1575	1389
782	87	1792	1086	102	890	718	1277
1122	1459	331	926	609	737	1104	1445
595	409	1585	1622	30	1317	1243	1155
1141	662	745	305	227	990	34	1142
1110	1610	1252	176	344	743	1609	372
706	437	1137	873	1702	797	49	882
715	1683	1508	1583	367	1273	1627	927
1886	821	752	65	1510	1842	725	590
1526	1568	551	824	622	1158	1800	1341
947	1820	1196	380	1832	147	533	731
1026	436	1362	963	979	573	712	1328
148	1818	510	760	1524	26	616	1028
1103	1819	1360	209	1582	1236	1172	1665
1024	1267	1329	574	1182	38	1824	1865
854	251	230	976	202	1371	907	1220
265	492	35	1414	1768	786	1415	79
948	1561	1305	1027	332	1407	1789	142
617	1876	868	1166	210	472	14	170
762	378	772	512	1546	1848	587	1472
1272	618	637	775	1854	268	1461	1143
1662	1602	1077	392	1223	1920	1763	271
1316	606	1094	1008	931	1900	1242	981
750	1710	1253	721	322	1457	433	682
1016	253	478	447	403	495	21	124
1045	1752	696	1547	1170	1131	1551	844

Obtención de biodiesel a partir de aceites usados en casa habitación de
la comunidad del Refugio

1555	341	1834	1319	465	1553	1318	813
1778	1053	566	686	74	421	1398	5
1773	748	598	1601	1896	91	951	158
1760	1864	1837	1855	365	204	680	1249
1631	1231	1651	361	1429	597	498	1150
1916	1268	24	99	1626	1910	52	985
1351	1534	457	1522	640	1063	1713	887
1584	1533	1203	1001	348	549	1817	626
1542	535	1393	1095	1739	1040	474	1041
1751	769	1276	802	400	39	1684	1093
270	673	1772	988	1127	936	1168	143
72	1520	856	384	285	688	93	321
302	1883	968	994	186	942	610	192
177	1548	1331	494	525	790	1494	1569
1642	811	758	234	399	1798	1006	1423
1173							

Anexo 2 Encuesta

Institución: Universidad Tecnológica de Tijuana

Nombre del encuestador: _____

Localidad: El Refugio

Municipio: Tijuana

Delegación: El Centenario

Entidad Federativa: Baja California

Calle: _____ **Número:** _____

Colonia: _____ **C.P.:** _____

Habitante(s) por casa: _____

1.- Del dinero que gasta en su despensa semanalmente, ¿qué tanto dedica a la compra de aceite? _____

2.- ¿Qué marca de aceite compra? _____

Obtención de biodiesel a partir de aceites usados en casa habitación de la comunidad del Refugio

3.- ¿Cuántos litros de aceite consume por semana? _____

4.- ¿Cuántas mujeres cocinan con aceite en su casa por semana?

5.- ¿Cuántos hombres cocinan con aceite en su casa por semana?

6.- Reutiliza el aceite: Sí _____ No _____ De vez en cuando _____

7.- En caso de contestar *sí*, ¿cuántas veces lo vuelve a usar? _____

8.- ¿Dónde desecha el aceite usado?

Drenaje _____ Suelo _____ Basura _____ Otro _____

(especifique)

En caso de contestar *basura* u *otro*, especifique el tipo de recipiente donde deposita _____ el _____ aceite usado: _____

9.- Donaría el aceite que ya no utilice: Sí _____ No _____ A lo mejor _____

10.- Si en su colonia hubiera depósitos especiales para el desecho de aceite usado, ¿lo depositaría ahí?: Sí _____ No _____ Posiblemente _____

11.- En caso de contestar *no*, ¿por qué? _____

12.- ¿Sabe que el aceite es un contaminante?: Sí _____ No _____

En caso de contestar *sí*, elija sus opciones: Agua _____ Aire _____

Suelo _____

13.- Sabe lo que es el biodiesel: Sí _____ No _____

14.- Conoce los beneficios del biodiesel: Sí _____ No _____

En caso de contestar *sí*, favor de listar dos beneficios: _____