

Producción de biodiesel a partir de desechos de aceites a nivel de laboratorio

Contreras, Liza, lizinandis@hotmail.com, López, Michelle ichelleylopezvaldez@gmail.com, Martínez, Edwin danielmartinezmarroquin@gmail.com, Villavicencio, Stephanie stephanie.villavicencio@gmail.com. Estudiantes de último año de Ingeniería Química de la Universidad Rafael Landívar.

RESUMEN

El presente estudio consta de la búsqueda de alternativas de combustibles que disminuyan los gases de efecto invernadero a base de la reutilización de residuos industriales y en este caso en particular de residuos domésticos.

Las consecuencias de los problemas ambientales se suman a la problemática mundial del incremento de contaminación atmosférica que afecta la calidad de vida de los ciudadanos; dando respuesta a este problema de índole ambiental, social y económica se buscó una alternativa para producción de Biodiesel a partir de aceites vegetales o animales.

El procedimiento para la producción de Biodiesel es sencillo y económico, teniendo como materiales a utilizar alcohol que puede ser etanol o metanol, aceites vegetales usados, equipo de titulación y equipo de filtración. Dichos reactivos se hacen reaccionar a partir de una transesterificación la cual

consiste en intercambiar un grupo alcoxi del alcohol utilizado un catalizador base o ácido, que en este caso se utilizó una base.

El procedimiento consiste en limpiar el aceite, conocer el punto de equivalencia del aceite para conocer la cantidad de base que se requerirá para la reacción, hacer una mezcla de alcohol con la base para posteriormente agregarla al aceite limpio y finalmente separar la glicerina del éster producido, obteniendo como producto final el biodiesel.

El biodiesel puede utilizarse como sustituto del diésel como un biocombustible obteniendo una reducción de producción de gases de efecto invernadero. El subproducto de la realización de transesterificación es la glicerina, la cual se puede incorporar como materia prima en otros procesos industriales.

Palabras clave: Biocombustible, Biodiesel, Glicerina, Transesterificación, biocombustibles.

ABSTRACT

The present study consists of search of alternatives of fuels that diminish the greenhouse gas emissions based on the reuse of industrial waste and in this case of domestic waste.

The consequences of environmental problems add to the global problem of increasing air pollution that affects the quality of life of citizens. Responding to this environmental, social and economic problem, an alternative was sought to produce Biodiesel from vegetable oils.

The process to produce Biodiesel is simple and economic, having as materials to use as alcohol that can be ethanol or methanol, used animal or vegetable oils, titration equipment and filtration equipment. Said reagents are

reacted from a transesterification which consists in exchanging an alkoxy group of the alcohol used a base or acid catalyst, in which this case a base was used.

The procedure is to clean the oil, to know the equivalence point of the oil to know the amount of base that will be required for the reaction, to make a mixture of alcohol with the base to later add it to the clean oil and finally to separate the glycerin from the ester produced, Obtaining biodiesel as the final product.

Biodiesel that can be used as a substitute for diesel as a biofuel, resulting in a reduction in the production of greenhouse gases. The byproduct of the transesterification embodiment is glycerin, which can be

incorporated as prime material in other industrial processes.

INTRODUCCIÓN

El presente proyecto es una iniciativa para la producción de biodiesel a partir de los desechos de aceite, dicho aceite debe ser de origen vegetal el cual es un compuesto orgánico obtenido a partir de semillas y otras partes de las plantas en cuyos tejidos se acumula como fuente de energía.

Según (Lorenzo, 2014), el biodiesel es un combustible que se obtiene a partir de la transesterificación del triglicérido, este producto es obtenido naturalmente partiendo de materias primas agrícolas y puede usarse en motores de ciclo diesel.

Implementando esta técnica resulta altamente efectiva ya que la mayoría de la población no da una correcta disposición final a los residuos de aceite vegetal usado, el cual puede traer consigo múltiples consecuencias para la comunidad.

Esta inversión resulta favorable para poder crear un combustible con los residuos, elaborándolo a partir de las grasas de origen vegetal o animal, conocidos químicamente como triglicéridos los cuales están constituidos por tres moléculas de ácido graso unidas a una molécula de glicerina.

El biodiesel es un carburante ecológico que posee grandes ventajas medioambientales ya que no daña el ambiente por ser un combustible de origen ambiental en su estado 100% puro.

Su uso en su estado biocarburante sería completamente inocuo al ambiente.

En la actualidad, Guatemala produce Biodiesel a pequeña escala especialmente para el

Keywords: Biofuel, Biodiesel, Glycerin, Transesterification, Biocombustibles

autoconsumo de maquinaria estacionaria o vehículos que emplean como combustible el diésel.

Según (López, Bocanegra, & Romero, 2015), las materias primas empleadas en la producción local pueden ir desde la palma africana, *Jatropha Curcas* (piñon), *reicinus communis* (higuerillo), aceites vegetales reciclados y grasas animales.

Los pequeños productores de biodiesel en el país son únicamente ocho, con una capacidad instalada de 4000 galones al día, empleando como materia prima el aceite reciclado. No existe un marco legal que regule la cadena de comercialización de biodiesel dado que su producción es aún a pequeña escala para abastecer las necesidades del mercado.

Según estudios realizados sobre el rendimiento de la producción de biodiesel a partir de aceite vegetal usado es similar al obtenido cuando se emplea aceite virgen (80%), pero con reducción de costos entre casi el 60-70% (Mateos, Medel, & Rebollar, 1996).

Según lo anterior se puede decir que el consumo de combustibles fósiles representa un crecimiento importante por la dependencia petrolera que se ha generado en el país, la cual genera una gran cantidad de contaminación emitida hacia la atmósfera con la que se ha favorecido el efecto invernadero. Cada litro de aceite comestible usado que es tirado al drenaje contamina aproximadamente 1,000,000 de litros de agua, este recurso vital para los seres vivos se considera en la actualidad que no es renovable y optar por una estrategia de reutilización de aceite resulta de gran beneficio, no sólo para la vida humana sino para todo lo que habita el planeta Tierra.

DESCRIPCION

A principios del siglo XXI, en el contexto de búsqueda de nuevas fuentes de energía, se impulsó el desarrollo del aceite vegetal para la utilización en automóviles como combustible alternativo a los derivados del petróleo, reduciendo al 100% las emisiones netas de dióxido de carbono y dióxido sulfuroso, logrando así también las emisiones de hollín en un 40-60%, hidrocarburos y monóxido de carbono en un 10-50% según fuentes consultadas.

Biodiesel y sus propiedades (Castellar, Pereda, & Cardozo, 2015)

Dentro de las propiedades generales del biodiesel se encuentran una serie de ventajas en comparación al diesel fósil, pero la principal razón para su utilización es el hecho de que presenta un impacto ambiental negativo mucho menor que los derivados del petróleo. Al ser obtenido de recursos reciclados, produce

una ventaja neta en lo que se refiere al ciclo de carbono no produciendo acumulación de este en el ambiente.

Cuanto más grande es la proporción de biodiesel en una mezcla con diesel, más grande es la baja de los contaminantes tradicionales. El contenido de azufre aproximadamente se estima en las 11 ppm, mientras que en un motor diésel convencional, éste tiene un valor de 1600 ppm, y para un motor diesel con bajo contenido de azufre en 500 ppm.

El biodiesel es un biocombustible sintético líquido que se obtiene a partir de lípidos naturales nuevos o usados. El prefijo bio hace referencia a su naturaleza renovable y biológica en contraste con el combustible diesel tradicional derivado del petróleo; mientras que diesel se refiere a su uso en motores de este tipo. Como combustible, el biodiesel puede ser usado en forma pura o mezclado con diesel de petróleo.

Tabla No. 1 propiedades físicas y químicas del Biodiesel.

Propiedad	Unidad	Valor aproximado
Conversión	% (m / m)	96.50 a 97.50
Densidad a 15 °C	Kg/ m ²	860 a 900
Viscosidad a 40 °C	Mm ² / gr	3.5 a 5.00
Punto inflamación	°C	120
Contenido de Azufre	mg / Kg	10
Índice de Cetanos	N°.	51
Contenido máximo de agua	mg / Kg	500
Contenido de metanol	% (m / m)	0.20
Contenido de monoglicéridos	% (m / m)	0.80
Contenido de diglicéridos	% (m / m)	0.80
Contenido de triglicéridos	% (m / m)	0.20
Glicerol libre	% (m / m)	0.02
Glicerol total	% (m / m)	0.025
Metales del grupo I (Na - K)	mg / Kg	5.00
Metales del grupo II (Ca - Mg)	mg / Kg	5.00
Contenido de fósforo	mg / Kg	10.00
Índice de Yodo (Para Soja)	gr yodo / 100 gr	120.0

Fuente:

http://www.palermo.edu/economicas/pdf_economicas/Presentacion_biocom_Steinberg.pdf

Los ésteres más utilizados son los de metanol y etanol (obtenidos a partir de la transesterificación de cualquier tipo de aceites vegetales o grasas animales) debido a su bajo costo y sus ventajas químicas y físicas. El etanol es el de mayor costo de ambos, pero es

el que representa una mayor eficiencia y utilidad al momento de realizar biodiesel.

Sin embargo, el metanol posee dentro de sus propiedades tener la cadena más corta, es polar y es más económico en comparación con el etanol.

En cuanto a la utilización del biodiesel como combustible, podemos señalar que las características de los ésteres son más parecidas a las del diesel que las del aceite vegetal sin modificar y además el índice de cetanos de los ésteres, es superior, siendo los valores adecuados para su uso como combustible.

La viscosidad de los ésteres es aproximadamente dos veces superior a la del gas oil, frente a diez veces ó más de la del aceite crudo; además el índice de cetanos de los ésteres es superior, siendo adecuado para su uso como biocombustible.

El biodiesel descompone el caucho natural, por lo que es necesario sustituir éste por

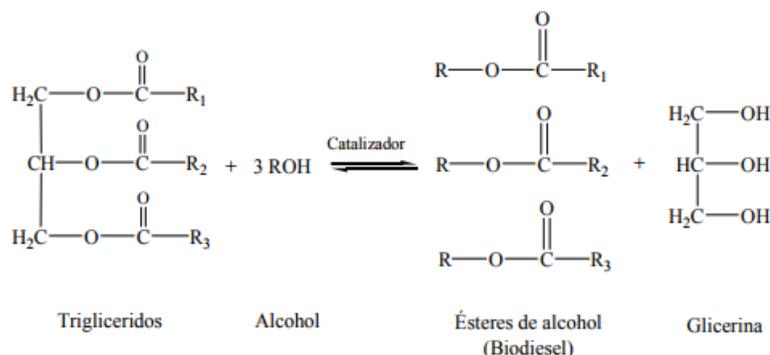
elastómeros sintéticos en caso de utilizar mezclas de combustible con alto contenido de biodiesel. Los aceites y grasas, desde el punto de vista químico, están formados mayoritariamente por triglicéridos, es decir, ésteres con tres cadenas moleculares de ácidos grasos unidas a una molécula de glicerol.

Según (Mateos, Medel, & Rebollar, 1996), cuando el glicerol se substituye por metanol obtenemos tres moléculas de metiléster y una molécula de glicerina. Esto es lo que ocurre en las reacciones de transesterificación, una molécula de triglicérido reacciona de la siguiente forma:

Reacción No. 1

Aceite vegetal usado + Metanol → Ester Metílico de Ácidos Grasos + Glicerina

Figura No. 1 Reacción general de transesterificación



La transesterificación es una reacción reversible, por lo cual es importante adicionar un exceso de alcohol para favorecer la producción de biodiesel, la relación molar estequiométrica entre aceite-alcohol es de 1:3, pero la relación comprobada experimentalmente para sebo vacuno debe ser de 1:6, ya que en esta relación se encontró un valor aceptable para la viscosidad.

En la reacción de transesterificación se utiliza un catalizador para mejorar la velocidad de reacción y el rendimiento

final, sin este no sería posible esta reacción.

Los catalizadores pueden ser ácidos homogéneos (H₂SO₄, HCl, H₃PO₄), ácidos heterogéneos (Zeolitas, Resinas Sulfónicas), básicos heterogéneos (MgO, CaO, Na/NaOH/Al₂O₃), básicos homogéneos (KOH, NaOH) o enzimáticos (Lipasas: Candida, Penicillium, Pseudomonas); de todos ellos, los catalizadores que se suelen utilizar a escala comercial son los catalizadores homogéneos básicos, ya que actúan mucho

más rápido y además permiten operar en condiciones moderadas. En el caso de la reacción de transesterificación, cuando se utiliza un catalizador ácido se requieren condiciones de temperaturas elevadas y tiempos de reacción largos, por ello es frecuente la utilización de derivados de ácidos más activos.

En comparación se puede decir que resulta más caro producir Petrodiesel que petróleo, pero por sus buenas cualidades son una fuente importante de incentivos, sobre todo en la parte económica-social para impulsar el incremento de su uso.

Desde 2002 se ha estado empleando en proporciones bajas (aproximadamente

20%), mezclado con el Petrodiesel, mejorando las propiedades de este. Para que la economía de producción del Biodiesel sea competitiva con el Petrodiesel, requiere de incentivos gubernamentales y fiscales, merecidos por las buenas características que presenta.

En cuanto a las emisiones el Biodiesel tanto mezclado con Petrodiesel en proporción del 20% o 100% Biodiesel presenta importantes reducciones de todas las emisiones excepto por las emisiones de Óxido de Nitrógeno donde compite en desventaja con el Petrodiesel, como se indica en la tabla siguiente.

Tabla No. 2 Emisiones promedio del Biodiesel comparadas con las del Petrodiesel

Tipo de emisión	B 100	B 20
REGULADAS		
Hidrocarburos totales	-67%	-20%
Monóxido de Carbono	-48%	-12%
Partículas	-47%	-12%
NOx	+10%	+2%
NO REGULADAS		
Sulfatos	-100%	-20%
HAP (Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos)	-100%	-20%
NHAP (HAP nitratos)	-90%	-50%
Ozono potencial de HC especiales	-50%	-10%

Fuente:

http://www.energiaadebate.com/Articulos/febrero_2006/jorge_luis_aguilar_gonzalez.htm

El punto de inflamación también es sustancialmente mejor en el Biodiesel, ya que lo convierte en un bio mucho más seguro de almacenar siendo éste de 128 °C. Al compararlo con el punto de inflamación del Petrodiesel que es de 48 a 71 °C, es más seguro de almacenar el biodiesel que el petróleo que tiene un punto de inflamación de 66 a 116 °C.

El Biodiesel puede emplearse en los motores a Diesel convencionales sin requerir modificación

alguna, lo que facilita en gran proporción su introducción al mercado ya sea al 100% o mezclado con el Petrodiesel, siendo la proporción más frecuente al 20%.

La Siguiete tabla muestra una lista de los aceites vegetales que son factibles de emplear como materia prima para la producción del Biodiesel y los rendimientos en producción de aceite por hectárea.

Tabla No. 3 Comparación de rendimiento típico de cosechas para producción de aceite vegetal

Planta	Kg de aceite/hectárea
Maíz	145
Algodón	273
Cáñamo	305
Soya	375
Linaza	402
Mostaza	481
Girasol	800
Cacahuete	890

Fuente:

http://www.energiadebate.com/Articulos/febrero_2006/jorge_luis_aguilar_gonzalez.htm

Conociendo los beneficios que el Biodiesel representa en un mejoramiento para las actividades cotidianas como desechar el aceite usado por el drenaje y las consecuencias negativas de una mala disposición final, la producción de biodiesel es un motivo suficiente para considerar este desecho como un subproducto para la producción del biocombustible en cuestión.

METODOLOGÍA (Mateos, Medel, & Rebollar, 1996)

Práctica a nivel laboratorio para la elaboración de biodiesel a partir de aceite usado de cocina

Para la realización del Biodiesel se debe de iniciar con la filtración del aceite ya que al ser un aceite usado puede contener sólidos suspendidos. Para facilitar el proceso de filtración se puede calentar el aceite a 80°C. Este procedimiento favorece también la eliminación de agua que pueda estar contenida en él y hace más rápido y sencillo el proceso de filtración.

En el proceso de elaboración de biodiesel se hace necesario conocer algunas variables que están asociadas con la producción de biodiesel. Tal es el caso del cálculo de cantidad de catalizador (hidróxido de sodio), este porcentaje a emplear en la reacción oscila entre 1-2% p/p tomando como base la masa del aceite, según fuentes bibliográficas.

Otra variable para determinar es la relación molar de alcohol-aceite que puede ser 12:1, según referencias y estudios realizados.

Para la determinación del cálculo de la cantidad de catalizador se realiza el procedimiento de titulación del aceite, de esta manera se conoce su acidez y se determina la cantidad necesaria de catalizador. Se emplea una solución estandarizada de Hidróxido de Sodio y luego se procede a titular el aceite previamente mezclado con unas gotas de indicador fenolftaleína. Se recomienda hacerlo sobre una estufa y colocar en la mezcla un agitador magnético para que la titulación se dé de manera uniforme.

Es recomendable realizar el procedimiento en múltiples corridas para obtener resultados más exactos. Posteriormente para calcular la cantidad de catalizador a utilizar se hace una relación directa entre la cantidad utilizada para la titulación y la cantidad que se utilizará de aceite.

Si no se realiza de manera correcta este cálculo la reacción puede quedar incompleta e inutilizable ya que se formarían capas de biodiesel, aceite y glicerina.

Luego se debe mezclar el metanol con el hidróxido de sodio para formar metóxido de sodio y se aparta la solución.

Posterior a eso se da la reacción de transesterificación, llevándola a cabo a una temperatura de 60°C para disminuir su viscosidad y se vierte la solución que se apartó en el inciso anterior, continuando con una agitación lenta. En este paso los ácidos grasos se separan de la glicerina y el alcohol se une a los mismos formando ésteres del alcohol utilizado.

Para decantar se debe dejar reposar y enfriar la mezcla por un tiempo, de esta manera se formarán dos capas siendo la capa superior el biodiesel que lo conforman los ésteres y la capa inferior la glicerina.

En el proceso de separación se debe descartar la fase inferior y reservar la superior que es la que contiene el Biodiesel. La forma de separación se puede realizarse por filtración a través de un embudo (aproximadamente 24 horas) o por medio de pipetas Pasteur.

Es importante no dejar que la glicerina se solidifique para que sea más fácil su extracción. Si esto ocurre se debe de calentar nuevamente el recipiente que contenga las fases y así poder separarlos.

Los residuos de esta reacción son la glicerina y jabones si no se extrae el agua del aceite, dichos productos se pueden reutilizarse como

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El presente proyecto pretende aprovechar los residuos de aceites vegetales utilizándolos como materia prima alternativa para la producción de biodiesel. El aprovechamiento de estos residuos para obtener combustible tiene muchas ventajas, entre ellas se pueden mencionar que el producto no es inflamable, no es explosivo, posee punto de inflamación superior comparado con el diesel de petróleo, es biodegradable, y que disminuye significativamente las emisiones de gases tóxicos y de otras sustancias volátiles cuando se llevaba a cabo la combustión. Esto último debido a que, al ser un combustible oxigenado, el biodiesel tiene una combustión más completa que el diesel, reduciendo las emisiones de CO, SO₂, materia particulada e hidrocarburos no quemados. El biodiesel también posee ventajas para el motor, aumentando su tiempo de vida útil, ya que al poseer menos partículas sólidas el combustible tiene mayor lubricidad.

La incorporación de biodiesel en Guatemala tendría grandes beneficios económicos, ya que, al utilizar insumos locales como materia prima, se reduciría la dependencia de las importaciones de petróleo, ahorrando cierto

se explicó anteriormente en otros procesos industriales.

Cuando el biodiesel obtenido se encuentra separado de la capa de glicerina, se debe adicionar agua destilada (un tercio de la cantidad obtenida de biodiesel), agitar y volver a pasar por el embudo para ser filtrado de nuevo, de esta manera se lava el producto y se descarta la fase acuosa contenida en el biocombustible. Este proceso se denomina proceso de purificación del biodiesel. Este procedimiento se debe repetir hasta que se obtenga un pH del agua de lavado cercano a la neutralidad.

Al finalizar el proceso de separación y purificación se calienta el biodiesel a 110°C para evaporar cualquier residuo de agua presente en él.

De ser posible se recomienda hacer pruebas para determinar la calidad del producto final.

porcentaje de divisas y generando más puestos u oportunidades de empleo.

En el planteamiento del proyecto, se le dio importancia a la calidad y eficiencia del biodiesel obtenido, sin descuidar el aspecto económico y ambiental, ya que la aceptación social del producto dependerá de la capacidad como combustible renovable y como sustituto del diesel que genera gases de efecto invernadero. La calidad del biodiesel producido se ve afectado principalmente por las características y propiedades de la materia prima utilizada, en este caso los aceites vegetales residuales. Entre la materia prima que se puede utilizar están los aceites comestibles residuales y los no comestibles residuales.

Para este proyecto se utilizan residuos de aceites vegetales comestibles, por lo que las empresas de restaurantes y alimentos serían los principales proveedores. La calidad de los combustibles obtenidos a partir de la transesterificación de estos se acerca mucho a la del combustible diesel común, debido a que no poseen una gran cantidad de ácidos grasos libres (impurezas). Por otro lado, los aceites no comestibles contienen mayor cantidad de esteroides, fosfolípidos, ácidos grasos libres, y otros contaminantes, esto hace que incluso después de su refinamiento contengan

pequeñas cantidades de estos contaminantes que afectan la reacción de transesterificación de triglicéridos e interfieran en la purificación y separación de los ésteres de alquilo de los ácidos grasos afectando el rendimiento del biodiesel producido.

Por otro lado, en las consideraciones económicas del proyecto, el alto contenido de impurezas requiere de pasos químicos adicionales para su eliminación tales como saponificación, lo que aumentaría los costos de producción del proyecto.

El proceso de obtención del Biodiesel inicia con caracterización del aceite usado que se empleará como materia prima. Uno de los indicadores principales a definir es si el proceso se llevará cabo mediante una o dos etapas: esterificación y transesterificación. Para definir las etapas se hace necesario la determinación del porcentaje de ácidos grasos libres o el índice de acidez del aceite usado, este índice se define como el número de miligramos de NaOH que se requieren para neutralizar los ácidos grasos libres contenidos en un gramo de grasa. El proceso de esterificación, que es la conversión de ácidos grasos en metilésteres se realiza en condiciones ácidas, mientras que el proceso de transesterificación, que es la conversión de triacilglicéridos en metilésteres se realiza en condiciones alcalinas. Por tanto, el criterio para llevar a cabo la reacción en una o dos etapas es porcentaje de acidez que debe ser superior al 1%.

Para esta prueba a nivel laboratorio, se sugiere utilizar un porcentaje de hidróxido de sodio entre un 1-2% p/p tomando de base la masa del aceite. Si el índice de acidez es mayor al 1% se deberá hacer el proceso con una reacción de esterificación que no se detalla en el presente artículo.

CONCLUSIONES

1. El biodiesel es una combustible alterno del cual se logra sustituir los generados de fuentes de energía fósiles.
2. El biodiesel no emite gases tóxicos para el ser humano, ni nocivos para el medio

Para realizar la reacción de transesterificación catalizada por base, da como producto los ésteres de alquilo que conforman el biodiesel, y se propone en un inicio como opciones emplear como alcohol el metanol o etanol. Si se opta por la utilización de etanol, este alcohol es más caro y menos reactivo que el metanol, siendo estos factores importantes al considerar que la reacción requiere un exceso de alcohol para desplazar el equilibrio hacia los productos, sin embargo, el biodiesel obtenido por medio de la utilización de etanol es más eficiente. Esta mayor eficiencia se debe a que el biodiesel obtenido con metanol suele ser demasiado volátil generando pérdidas; por el contrario, cuando se obtiene mediante la utilización de etanol, posee una volatilidad óptima que asegura el rendimiento y desempeño adecuado del motor que lo empleará.

Previo a la elaboración de este proyecto, es importante conocer la eficiencia esperada del proceso de elaboración de este, por el cual se obtiene el producto final. Para ello se consultó un estudio realizado por la ACR (Asociación de Combustibles Renovables) sobre varios proyectos de generación de biodiesel realizados en Guatemala a pequeña escala, en el que se emplearon insumos similares. Los proyectos reportaron eficiencias aceptables, sin embargo, ninguno alcanzó el 100%. Basándose en lo anterior se plantea que, aunque se optimicen recursos y se reduzcan los costos de producción para este proyecto, la eficiencia no será del cien por ciento, según estos estudios se alcanza una eficiencia máxima del 80%. Esto indica que se obtendrá un producto de calidad aceptable que cumplirá con las expectativas, siendo un sustituto potencial de un combustible convencional de petróleo, reduciendo las emisiones de gases efecto invernadero a un costo económico.

- ambiente ya que está compuesto al 100% de partículas orgánicas lo que evita los gases de efecto invernadero.
3. La práctica a nivel laboratorio para la elaboración de Biodiesel, fomenta el estudio y análisis de reutilización de

materiales usados para la reducción de emisiones gaseosas nocivas y plantear alternativas sostenibles con alto nivel de biodegradabilidad.

4. La aplicación comercial a gran escala no implica inversiones sustancialmente

extensas, pero si la oportunidad de generar ganancias al darle un nuevo uso a un material que se considera un desecho, siendo este de beneficio no sólo para el usuario o productor sino también para el ambiente.

Bibliografía

- Bustillo, M., & Pereda, J. (2003). Producción de Biodiesel a partir de residuos de industrias agroalimentarias. *Alimentación, Equipos y Tecnología*, 8.
- Castellar, G., Pereda, J., & Cardozo, B. M. (2015). *Transesterificación vegetable oils using heterogeneous catalysis*. Obtenido de *Transesterificación vegetable oils using heterogeneous catalysis*: <http://www.scielo.org.co/pdf/prosp/v12n2a10.pdf>
- Chang, R. (2006). *Química General*. México: McGraw Hill.
- López, L., Bocanegra, J., & Romero, M. (2015). Obtención de biodiesel por

transesterificación de aceite de cocina usado. *Facultad Ingeniería Universidad de Bogotá (Colombia)*, 155-172.

- Lorenzo, A. (2014). *Biocombustibles y Oportunidades para Guatemala*. Obtenido de *Biocombustibles y Oportunidades para Guatemala*: <http://www.mem.gob.gt/wp-content/uploads/2014/02/03>
- Mateos, G., Medel, G., & Rebollar. (Noviembre de 1996). *Utilización de grasas y productos lípidos en alimentación animal: Grasas puras y mezclas*. Obtenido de *Utilización de grasas y productos lípidos en alimentación animal: Grasas puras y mezclas*: <http://www.etsia.upm.es/fedna/capitulos/96capitulol.pdf>
- Weinwe, E. (2008). *Bioquímica*. México: Reverté.