



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Química

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA EL INCREMENTO DEL RENDIMIENTO EN LA PLANTA
GENERADORA DE BIODIESEL, A TRAVES DE LA MEJORA EN LA RECOLECCIÓN Y LOS
SISTEMAS DE CONTROL DE CALIDAD DEL ACEITE USADO DE RESTAURANTES**

Braulio Augusto Arévalo Hidalgo

Asesorado por el MSc. Ing. Nicolás de Jesús Guzmán Saenz

Guatemala, agosto de 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA EL INCREMENTO DEL RENDIMIENTO EN LA PLANTA
GENERADORA DE BIODIESEL, A TRAVÉS DE LA MEJORA EN LA RECOLECCIÓN Y LOS
SISTEMAS DE CONTROL DE CALIDAD DEL ACEITE USADO DE RESTAURANTES**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

BRAULIO AUGUSTO ARÉVALO HIDALGO

ASESORADO POR EL MSC. ING. NICOLÁS DE JESÚS GUZMÁN SAENZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO QUÍMICO

GUATEMALA, AGOSTO DE 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
VOCAL V	Br. Sergio Alejandro Donis Soto
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
EXAMINADOR	Dr. Adolfo Narciso Gramajo Antonio
EXAMINADOR	Ing. Estuardo Monroy Benítez
EXAMINADOR	Ing. Jorge Rodolfo García Carrera
SECRETARIO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA EL INCREMENTO DEL RENDIMIENTO EN LA PLANTA GENERADORA DE BIODIESEL, A TRAVES DE LA MEJORA EN LA RECOLECCIÓN Y LOS SISTEMAS DE CONTROL DE CALIDAD DEL ACEITE USADO DE RESTAURANTES

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Posgrado, con fecha 2 de agosto de 2013.



Braulio Augusto Arévalo Hidalgo



Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería
Teléfono 2418-9142

000042

ADSE-MEAPP-0027-2013

Guatemala, 13 de agosto de 2013.

Director:
Victor Manuel Monzón Valdez
Escuela de Ingeniería Química
Presente.

Estimado Director:

Reciba un atento y cordial saludo de la Escuela de Estudios de Postgrado. El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado los cursos aprobados del primer año y el Diseño de Investigación del estudiante **Braulio Augusto Arévalo Hidalgo** con carné número 1998 - 11303, quien opto la modalidad del "PROCESO DE GRADUACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA OPCIÓN ESTUDIOS DE POSTGRADO". Previo a culminar sus estudios en la **Maestría de Energía y Ambiente**.

Y si habiendo cumplido y aprobado con los requisitos establecidos en el normativo de este Proceso de Graduación en el Punto 6.2, aprobado por la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería en el Punto Decimo, Inciso 10.2, del Acta 28-2011 de fecha 19 de septiembre de 2011, firmo y sello la presente para el trámite correspondiente de graduación de Pregrado.

Sin otro particular, atentamente,

"Id y enseñad a todos"

MSc. Nicolás Guzmán
Ingeniería civil y Sanitaria, Col. 4540

MSc. Ing. Nicolás de Jesús Guzmán Saenz
Asesor (a)

Ing. Juan C. Fuentes M.
M.Sc. Hidrología
Colegiado No. 2,504

MSc. Ing. Juan Carlos Fuentes Montepeque.
Coordinador de Área
Desarrollo social y energético

Dra. Mayra Virginia Castillo Montes
Directora
Escuela de Estudios de Postgrado



Cc: archivo/la

Doctorado: Sostenibilidad y Cambio Climático. **Programas de Maestrías:** Ingeniería Vial, Gestión Industrial, Estructuras, Energía y Ambiente Ingeniería Geotécnica, Ingeniería para el Desarrollo Municipal, Tecnologías de la Información y la Comunicación, Ingeniería de Mantenimiento. **Especializaciones:** Gestión del Talento Humano, Mercados Eléctricos, Investigación Científica, Educación virtual para el nivel superior, Administración y Mantenimiento Hospitalario, Neuropsicología y Neurociencia aplicada a la Industria, Enseñanza de la Matemática en el nivel superior, Estadística, Seguros y ciencias actuariales, Sistemas de Información Geográfica, Sistemas de gestión de calidad, Explotación Minera, Catastro.



El Director de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el informe de la Dirección de Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería del estudiante, **BRAULIO AUGUSTO ARÉVALO HIDALGO**, ha optado por la modalidad de estudios de postgrado para el proceso de graduación de pregrado, que para ello el estudiante ha llenado los requisitos establecidos en el normativo respectivo y luego de conocer el dictamen de los miembros del tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química para revisar el **Informe del Diseño de Investigación del Programa de Maestría en ENERGÍA Y AMBIENTE** titulado **"DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA EL INCREMENTO DEL RENDIMIENTO EN LA PLANTA GENERADORA DE BIODIESEL, A TRAVÉS DE LA MEJORA EN LA RECOLECCIÓN Y LOS SISTEMAS DE CONTROL DE CALIDAD DEL ACEITE USADO DE RESTAURANTES"**. Procede a **VALIDAR** el referido informe, ya que reúne la coherencia metodológica requerida por la Escuela.

"Id y Enseñad a Todos"

Ing. Víctor Manuel Monzón Valdez
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química



Guatemala, agosto 2013

Cc: Archivo
Copia: Colegio de Ingenieros Químicos de Guatemala
VMMV/ale

Universidad de San Carlos
de Guatemala



Facultad de Ingeniería
Decanato

DTG. 564 .2013

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA EL INCREMENTO DEL RENDIMIENTO EN LA PLANTA GENERADORA DE BIODIESEL, A TRAVES DE LA MEJORA EN LA RECOLECCIÓN Y LOS SISTEMAS DE CONTROL DE CALIDAD DEL ACEITE USADO DE RESTAURANTES**, presentado por el estudiante universitario: **Braulio Augusto Arévalo Hidalgo**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
Decano

Guatemala, 14 de agosto de 2013

/gdech



ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por ayudarme en todo momento y de forma incondicional.
Mi hijo	Diego Eduardo Arévalo Alvarado, mi fuente de toda inspiración, el amor de mi vida.
Mis padres	Braulio Augusto Arévalo Dubón y Ana María Hidalgo Jomell, por guiarme en el camino de la vida.
Mi esposa	Claudia Marcela Solares Castillo, por todo el amor y comprensión.
Mi familia y amigos	Por la amistad de toda una vida.

AGRADECIMIENTOS A:

Dios	Por ayudarme en todo momento y lugar.
Mi hijo	Diego Arévalo, por ser mi principal fuente de inspiración.
Mis padres	Braulio Augusto Arévalo Dubón y Ana María Hidalgo Jomell, por guiarme en el camino de la vida.
Mi esposa	Claudia Marcela Solares Castillo, por su amor y comprensión.
Mis familiares y amigos	Por la amistad y cariño de toda una vida.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	III
LISTA DE SÍMBOLOS	V
GLOSARIO	VII
RESUMEN	IX
1. INTRODUCCIÓN	01
2. ANTECEDENTES	03
3. OBJETIVOS	07
4. JUSTIFICACIÓN	09
5. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	11
6. ALCANCE	13
7. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL	15
7.1. Descripción conceptual del biodiesel.....	15
7.2. Utilización de biodiesel en Europa y América	15
7.3. Utilización de biodiesel en Guatemala.....	17
7.4. Uso de biodiesel y especificaciones	19
7.5. Métodos de obtención de biodiesel	21
7.6. Obtención de aceites vegetales.....	23
7.7. Ventajas e inconvenientes del uso del biodiesel	25

8.	HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN.....	29
9.	CONTENIDO	31
10.	MÉTODOS Y TÉCNICAS	35
11.	RECURSOS NECESARIOS	39
12.	CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES.....	41
13.	BIBLIOGRAFÍA	43

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Norma de la Unión Europea para el biodiesel	20
2.	Reacción de transesterificación de triglicéros con metanol.....	21
3.	Eficiencia del sistema de captura	50

TABLAS

I.	Comparación de los niveles de emisión de contaminantes a la atmósfera para el diesel y biodiesel.....	27
II.	Tabla de datos experimentales	38
III.	Recursos necesarios	40

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
H₂O	Agua, óxido de dihidrogeno
SO₂	Dióxido de azufre
CO₂	Dióxido de carbono, bióxido de carbono
GEI	Gases de efecto invernadero
°C	Grados Celsius
°F	Grados Fahrenheit
kg	Kilogramo
lb	Libra
ppm	Partes por millón
%	Porcentaje

GLOSARIO

Aceite usado	Aceite gastado u utilizado en algún proceso, aceite que debe ser descartado.
Biodiesel	Combustible derivado de aceites vegetales que puede reemplazar al diesel convencional.
Cambio climático	Es la modificación del clima con respecto al historial climático a una escala global o regional.
Combustible fósil	Son tres: petróleo, carbón y gas natural, y se formaron hace millones de años, a partir de restos orgánicos de plantas y animales muertos.
Diesel	Combustible producido a partir de petróleo, utilizado para motores de encendido automático, es decir al estar comprimido por un pistón.
Efecto invernadero	Fenómeno por el cual determinados gases, que son componentes de la atmósfera terrestre, retienen parte de la energía que la superficie planetaria emite por haber sido calentada por la radiación estelar.
Emisión	Son todos los fluidos gaseosos, puros o con sustancias en suspensión.

Energía renovable	Es aquella energía que se diferencia de la tradicional ya que no causa contaminación al medio ambiente, que puede ser obtenida de forma inagotable.
Gas	Estado de agregación de la materia en el cual, bajo ciertas condiciones de temperatura y presión, sus moléculas interactúan solo débilmente entre sí, sin formar enlaces moleculares
Impacto ambiental	Efecto que produce una acción sobre el medio ambiente en sus distintos aspectos.
Poder calorífico	Cantidad de energía que la unidad de masa de materia puede desprender al producirse una reacción química de oxidación.
Proceso	Conjunto de actividades o eventos (coordinados u organizados) que se realizan o suceden (alternativa o simultáneamente) bajo ciertas circunstancias con un fin determinado.
Recursos naturales	Bien o servicio proporcionado por la naturaleza sin alteraciones por parte del ser humano.
Reducción	Se refiere a utilizar la cantidad mínima indispensable de recursos necesarios en acciones que van desde las cotidianas hasta las industriales.

RESUMEN

En el medio guatemalteco el aprovechamiento del aceite usado es bajo, en especial si se refiere al aceite usado en los procesos de frituras en restaurantes; entre las mayores dificultades se encuentra el procedimiento de almacenamiento y transporte hacia los centros de acopio, luego se encuentra dificultad de su utilización en las plantas de procesamiento por los bajos o nulos estándares de calidad en el mismo. El principal objetivo de este trabajo de graduación es aumentar la eficiencia de la planta de procesamiento de biodiesel, mediante la mejora de la calidad y el procedimiento de manejo.

Paralelo a este desaprovechamiento del aceite usado se encuentra la contaminación al ambiente, la cual se produce en cada uno de los puntos donde se utiliza, es decir en cada uno de los 320 restaurantes donde se realizan frituras de pollo, siendo este uno de los principales aportes del presente trabajo de graduación.

Por lo tanto este trabajo puede ayudar al desarrollo y aprovechamiento del aceite usado, así como incrementar su utilización para la producción de biodiesel, transformándolo en una fuente importante para la producción de diesel.

1. INTRODUCCIÓN

El aceite residual de los procesos de fritura en restaurantes se utiliza parcialmente en algunos casos y en otros se desecha. Parte de este aceite que si se utiliza se dispone para la planta de generación de biodiesel, sin embargo dichos procesos regularmente se realizan sin el criterio técnico o soporte, por lo que el aprovechamiento actual es limitado y causa bajos rendimientos en la planta de generación de biodiesel.

Entre los diversos inconvenientes que genera actualmente tanto el método de recolección como el procesamiento de aceite usado, se encuentran la contaminación con el medio ambiente, debido a que el área para su almacenaje no se encuentra debidamente rotulada y organizada. Esto ocasiona que el personal de la planta de generación de biodiesel no aplique un correcto manejo, ubicación y embalaje del aceite, lo que repercute en el rendimiento del proceso.

Por otro lado, el procedimiento para su manejo desde el restaurante es inadecuado, la disposición del producto y sus recipientes no está documentada, tampoco su posterior traslado a la planta de reciclaje de aceite usado, donde se produce biodiesel.

También es importante indicar que no se cuenta con el análisis de parámetros fisicoquímicos al producto en proceso o aceite recolectado de restaurantes. Los análisis se realizan hasta recibirlo en la planta de tratamiento donde ya no es posible hacer ninguna modificación para mejorar sus propiedades químicas, por lo que es necesario determinar y aprovechar la

oportunidad que ofrece este estudio para mejorar los controles de calidad del proceso.

Entre los principales beneficios del presente estudio, está la reducción de la cantidad de aceite que se está desechando a los drenajes, en cada uno de los 310 restaurantes de comida rápida de la empresa donde se realiza el presente trabajo de graduación; adicionalmente al recolectar mayor cantidad de aceite usado se estarán incrementando los ingresos de la empresa, así como mejorando el rendimiento de la planta generadora de biodiesel, a través de las mejoras en el procedimiento de recolección y del sistema de control de calidad.

En el capítulo uno se estará analizando el procedimiento actual de manejo y recolección del aceite usado y sus oportunidades de mejora, para determinar el procedimiento óptimo, luego hacerlo por escrito y por último trasladarlo a todo el personal operativo, esta fase también implica determinar el procedimiento de capacitación continua para mantener los estándares de proceso establecidos.

En el capítulo dos se estarán analizando las variables a analizar en el aceite usado, en el centro de distribución, así como sus puntos de muestreo, en este capítulo se determinarán las 3 calidades que se pueden utilizar y sus parámetros o rangos de variación.

En el capítulo tres se estará analizando el rendimiento de la planta de generación de biodiesel, su situación actual y las mejoras con cada una de las calidades de aceite, para por último determinar el impacto de la mejora, expresa como eficiencia y también de forma monetaria.

2. ANTECEDENTES

El biodiesel fue utilizado inicialmente por Rudolf Diesel cuando presentó su primer motor en Augsburg, Alemania el 10 de agosto de 1893, esa es la principal razón por la que se decidió que dicha fecha sea el día internacional del biodiesel. Posteriormente en 1900, durante la Exposición Mundial de París, Diesel presentó un motor funcionando con aceite de maní. Diesel además pronosticó que los aceites vegetales se volverán con el paso del tiempo tan importantes como los productos del petróleo y la brea que se usaba en ese entonces.

En 1973 estalló la crisis del petróleo, la cual produjo incrementos enormes en su precio, fue precisamente en ese momento donde se inició la era moderna del biodiesel, instituciones como el Laboratorio Nacional de Energías renovables de Estados Unidos, empezaron a experimentar utilizando biodiesel producido a partir de diversas fuentes.

En 1997 se firmó el protocolo de Kioto, en la Convención de las Naciones Unidas sobre el cambio climático, lo cual significó un enorme impulso en la investigación de energías renovables y combustibles alternos como el biodiesel, posteriormente se realizó la ratificación del protocolo de Kioto en 2005, cada vez los esfuerzos han sido mayores.

Actualmente hay dos tipos de motores que pueden funcionar con biodiesel, “los que usan una mezcla de combustible fósil y aceite vegetal en clara analogía con el gasohol, y los motores que necesitan un sistema previo de calefacción para poder llevar el aceite vegetal puro directamente al motor. Para

esto es necesario llevar este combustible a más de 50 °C. Además, no deben haber piezas de caucho, todo debe ser de material plástico ya que el aceite vegetal puro (biodiesel 100 %) es capaz de disolverlo” (Molina, 2006).

En Latinoamérica se encuentran actualmente proyectos de recuperación de aceite vegetal usado para la producción de biosiesel, un claro ejemplo es la ciudad de Sao Paulo en Brasil. En Perú se han realizado pruebas en la Universidad Nacional Agraria y en la Universidad Nacional Mayor de San Marcos. (Calvo E, 2006).

El reciclado de aceite usado es una alternativa viable para su uso ya que es económicamente favorable y es amigable con el medio ambiente, ya que ayuda a eliminar los residuos que podrían contaminar el agua, así como ayuda a reducir las emisiones de gases efecto invernadero. Actualmente el proceso de reciclaje está relacionado solamente a grandes ciudades o cadenas de restaurantes, ya que se necesita una logística que garantice el flujo de materiales hacia las plantas de procesamiento. (Calvo E, 2006).

“El aprovechamiento de los aceites gastados para obtener una fuente de materia prima opcional en la obtención de biodiesel, implica adaptarlos a un proceso productivo factible y con la aplicabilidad a mayor escala. Los procesos de adaptación como filtración, neutralización y blanqueo o decoloración son aplicados”. (Quiñones Cantor, 2003). Estos procesos para la utilización de aceites usados son especialmente adaptados al tipo de aceite que utilice el proveedor, es decir aceite refinado de palma, girasol, soya, este factor dificulta la utilización de otra fuente o materia prima para el funcionamiento de las plantas de generación de biodiesel.

En México se han utilizado aceites vegetales provenientes del piñón y aceite usado en cocinas, luego de realizar la transesterificación a nivel de laboratorio se ha empleado un diseño experimental central, compuesto por 3 factores, en ellos se analizan los resultados experimentales para conocer las temperaturas óptimas, concentración de catalizadores y relación molar aceite/alcohol, estas 3 variables se analizan ya que se consideran las principales para la reacción de transesterificación alcalina. Luego de realizar el experimento se encontró que la variable más significativa fue la relación molar aceite/alcohol, con una pequeña variación en esta relación se obtienen mayores rendimientos en la generación de biodiesel. “En la prueba piloto procesando aceite usado de cocina a las condiciones óptimas, se obtuvo un rendimiento del 90 % de biodiesel”. (Tirado Hernández, 2011).

En la ciudad de Bucaramanga, Colombia, se generan 1 025 toneladas anuales de aceite usado en frituras, alrededor del 50 % de se desechan a los ríos de forma directa o indirecta, por ello desarrollaron un plan para la disposición final de estos aceites y un procedimiento para su manejo y reutilización. “De esta investigación se encontró escaso conocimiento de lo propietarios encuestados acerca de la posibilidad de la reutilización de los aceites usados para materia prima oleoquímica que pueda producir biodiesel. El rendimiento de los aceites usados puede llegar a las del 80-90 % para el caso de materia prima oleoquímica”. (Días, 2006).

En Guatemala no se cuenta estadísticas de la cantidad producida de aceite usado, se estima que anualmente se generan 2 500 toneladas, este cálculo se realiza en base a la cantidad de restaurantes que utilizan aceite para frituras. Solamente se tiene evidencia de dos plantas de generación de biodiesel, una pertenece a Biopersona en Antigua Guatemala y otra está instalada en una planta que procesa alimento para animales, perteneciente a un grupo de

empresas entre las cuales se encuentra una cadena más de 310 restaurantes, esta planta es la que se analiza en el presente trabajo de graduación.

3. OBJETIVOS

General

Incrementar el rendimiento en la planta generadora de biodiesel mediante la mejora del proceso de recolección y el sistema de control de calidad del aceite usado de restaurantes.

Específicos

1. Explicar e implementar los procedimientos que mejoren el proceso de recolección del aceite usado de restaurantes.
2. Evaluar el sistema de calidad del aceite usado, para cumplir con las especificaciones y requerimientos del Departamento de Control de Calidad.
3. Implementar capacitación sistemática enfocada al sector operativo responsable del proceso de recopilación y manejo de aceite reciclado.
4. Establecer la correlación entre las mejoras de la recolección-calidad del aceite usado y el porcentaje de obtención de biodiesel de la planta de generación.

4. JUSTIFICACIÓN

La presente investigación se realiza por el desperdicio de aceite usado en las frituras de más de 300 restaurantes de comida rápida. Esto produce contaminación en el ambiente tanto en los restaurantes como en el centro de distribución donde se almacena hasta su disposición final en la planta de generación de biodiesel.

Adicionalmente, los valores de rendimiento de la planta de generación de biodiesel son bajos (inferiores al porcentaje requerido), la planta se encuentra ubicada en Guatemala, en la zona 12.

Actualmente no se cuenta con un procedimiento estandarizado y sistematizado para el manejo del aceite usado. Además, no se realizan análisis de control de calidad del producto a lo largo de toda la cadena de recolección en restaurantes y almacenamiento en el centro de distribución; el único análisis se realiza cuando ingresa a la planta de procesamiento.

Por consiguiente la mejora en el almacenamiento y la implementación de análisis de control de calidad del aceite mejorará la calidad del aceite y el rendimiento de la planta de generación de biodiesel. Además, se disminuirá la contaminación al ambiente en todos los restaurantes donde se recolecta, el centro de distribución y la planta de procesamiento de biodiesel.

El presente trabajo de graduación se encuentre en la línea de investigación de Energías Renovables, por la generación de biodiesel a partir de aceite usado en restaurantes. También está asociado a la línea de investigación de descargas de aguas residuales, ya que se reducirán las descargas de aceite a los drenajes con el incremento en el volumen recolectado.

5. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El manejo del aceite usado de restaurantes ha sido desatendido por el personal operativo y por la gerencia; por ello se obtienen bajos rendimientos en la recolección y procesamiento del mismo para la obtención de biodiesel.

El biodiesel debe cumplir a su ingreso a la planta de procesamiento con valores determinados de poder calorífico, porcentaje de sólidos, porcentaje de agua y pH. Estos valores no se encuentran bajo control ya que no se realizan análisis de control de calidad en las diversas etapas del proceso de recolección.

Como consecuencia de este análisis se generan las siguientes preguntas de investigación.

- ¿Cómo se debe mejorar el proceso de recolección y el sistema de control de calidad del aceite usado de restaurantes para incrementar el rendimiento de la planta generadora de biodiesel?
- ¿Cuál es el método o procedimiento que debe seguirse para obtener altos volúmenes de aceite usado y llevarlo adecuadamente a la planta de procesamiento de biodiesel?
- ¿Cuáles deben ser los análisis y los puntos de muestreo del aceite usado a lo largo de toda la cadena de recolección desde los restaurantes hasta la planta de procesamiento?
- ¿Qué conocimiento deben tener y qué capacitaciones se deben impartir al personal operativo de restaurantes y centro de distribución que tienen repercusión directa en el volumen y calidad del aceite obtenido?

- ¿Qué procesos se deben mejorar en la planta de generación de biodiesel para aumentar el rendimiento en la obtención de biodiesel, hasta alcanzar un 80 % de eficiencia?

6. ALCANCE

El alcance de la presente investigación se enfoca a las principales áreas que tienen manejo directo con el aceite usado que se lleva a la planta de procesamiento de biodiesel, así como diversas áreas desde la perspectiva investigativa:

Desde la perspectiva investigativa:

- Es un estudio explicativo y correlacional; explicativo porque definirá el procedimiento adecuado para el manejo, transportes y almacenamiento de aceite usado; correlacional porque definirá la relación que existe entre las distintas calidades de aceite y la mejora del rendimiento de la planta de biodiesel.
- El presente estudio avanzará el 50 % en la solución completa del problema, es decir llegará hasta la obtención de los primeros resultados de la planta de generación de biodiesel, los mismos se tendrán que confirmar con posteriores corridas y análisis, hasta un año después de la primera corrida con distintas calidades de aceite.
- Docentes y estudiantes de la Maestría en Energía y Ambiente de Ingeniería.
- Proyectos de investigación de la Escuela de Estudios de Posgrado como de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos.
- Ingenieros químicos e industriales en general.
- Estudiantes de la carrera de Ingeniería Química, Ingeniería Ambiental e Ingeniería Industrial.

Desde la perspectiva técnica:

- 314 restaurantes de comida rápida distribuidos en toda Guatemala.
- Centro de distribución de la división de restaurantes de una empresa de Guatemala.
- Planta de generación de biodiesel ubicada en la zona 12 de Guatemala, propiedad de la misma empresa de restaurantes.

7. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

7.1. Descripción conceptual del biodiesel

El biodiesel es el combustible renovable derivado de aceites vegetales o grasas animales que es utilizado como sustituto o aditivo del diesel convencional. Fue el primer combustible utilizado por Rudolf Diesel cuando presentó su motor en Augsburg, Alemania el 10 de agosto de 1893, por esta razón fue declarado el día Internacional del Biodiesel. En 1900, Diesel presentó un motor funcionando con aceite de maní, además pronosticó que el actual uso de aceite vegetales actualmente insignificante, en un futuro será significativo con el paso del tiempo, estará sustituyendo a otros productos importantes como el petróleo.

Debido a la alta viscosidad de los aceites se originada un mal comportamiento en los motores diesel, por esa razón fue necesario calentarlo hasta 50 °C, para evitar el mal comportamiento de los aceites vegetales especialmente en los motores diesel de inyección directa, esta fue la principal limitación para poder utilizarlos. (Acevedo, 2007).

7.2. Utilización de biodiesel en Europa y América

La historia del biodiesel se desarrolló únicamente en Europa. Por el contrario el alcohol carburante o bioetanol, tuvo sus orígenes en países del continente americano, Brasil y Estados Unidos. Austria fue el pionero mundial en la producción de biodiesel y en el desarrollo de estándares de calidad del mismo. La primera planta dedicada exclusivamente a la producción de

biodiesel fue construida en 1991 en la ciudad de Aschach an der Donau, se usó aceite de colza como materia prima, de la mano con estos desarrollos se publicó el primer estándar de calidad para metil-esteres de ácidos grasos.

Desde esa fecha la industria del biodiesel ha experimentado un crecimiento continuo, se ha ampliado la cantidad y variedad de materias primas y países productores, actualmente se usan aceite de soya en Estados Unidos, girasol en países mediterráneos y palma aceitera en países tropicales. Actualmente la tendencia es la búsqueda de fuentes renovables de triglicéridos diferentes a los aceites vegetales tradicionales como: aceites vegetales no comestibles, aceites de frituras usados, grasas animales y aceites de microalgas. (Benjumea, 2009).

La producción industrial de biodiesel inició en Europa en 1992 y actualmente Alemania es el mayor productor de biodiesel del mundo y en Europa le siguen Francia e Italia.

En la última década, el uso de biodiesel en automóviles se ha extendido en Europa. En Alemania y Austria hay un gran número de gasolineras que distribuyen biodiesel (100 %) o mezclas de petro-diesel/biodiesel, que van del 95/5 % al 70/30 %, denominándose B5 y B30, respectivamente. La razón por la que se mezcla el diesel convencional con biodiesel está en el hecho de que los aceites vegetales disuelven la goma y el caucho, que son materiales empleados en la fabricación de conductos y juntas del sistema de alimentación de los automóviles. El uso prolongado del biodiesel 100 % podría degradar dichos conductos, produciendo algún poro o pérdida de combustible. En los últimos años, los fabricantes de automóviles ya han iniciado la sustitución de dichos materiales con plásticos o elastómeros más resistentes.

En algunos países, los autobuses urbanos funcionan con mezclas de diesel convencional (70 %) y biodiesel (30 %) obtenido del aceite vegetal reciclado de uso doméstico. El objetivo principal es la mejora ambiental porque se recoge el aceite gastado evitando que se vierta al drenaje.

7.3. Utilización de biodiesel en Guatemala

En Guatemala aún no se cuenta con estadísticas comerciales, la producción de biodiesel es inestable por la falta de abastecimiento y fuentes de materias primas, “según la Asociación promotora de Combustibles Renovables de Guatemala (ACR) el país cuenta con una capacidad instalada de producción de biodiesel de alrededor de 15 mil litros por día de acuerdo a producción a base de aceite reciclado, aunque su mayor fuente de producción es la palma africana”. (Biocomustibles, 2007).

Actualmente se enfoca la atención en otras fuentes de materia prima para la generación de biodiesel, para ello es de importancia la posible utilización de aceites usados en frituras de restaurantes, actualmente las empresas se han dedicado a reciclarlo para producir su propia energía o para comercializarlo, vendiéndolo a otros productos que pueda procesar aceites usados de distintas fuentes. Contribuyendo con ello al mejor desempeño financiero de las empresas y al cuidado responsable del medio ambiente.

Las franquicias de restaurantes en Guatemala han desarrollado programas de recolección de aceites en sus distintos puntos de venta o restaurantes en toda la república, mismos que sirven para la venta a proveedores de aceites, donde lo procesan en conjunto con aceites usados provenientes de otras fuentes, como aceites usados de vehículos. Otro posible uso es para la generación de biodiesel. (Biocomustibles, 2007).

El biodiesel es un combustible renovable prometedor, puede usarse con poca e incluso ninguna tecnología de conversión en los motores diesel, además presenta el beneficio de menores emisiones de dióxido de carbono y otros contaminantes atmosféricos que los combustibles derivados del petróleo. (Molina, 2006).

La producción de combustibles alternativos es un reto hacia algunos empresarios guatemaltecos que anhelan un ahorro energético, una mayor eficiencia de los recursos y una disminución en el gasto de insumos. Se ha podido escuchar de algunos ejemplos, tal es el caso de Bio Procesos Energeticos Renovables S.A. (Biopersa) esta convirtiendo el aceite de comida usado en los restaurantes de la localidad de Antigua Guatemala, en biodiesel. (El Financiero, 2008).

Es indispensable mantener en mente la caracterización del biodiesel, la cual está intrínsecamente relacionada a los aspectos fisicoquímicos del aceite y este a su vez con el tipo de recolección y procesamiento aplicado. Para obtener y recuperar el biodiesel, se deben modificar los procesos de acuerdo al tipo de aceite y su fuente de obtención, así se logra un incremento en la eficiencia de su producción, de las utilidades, así como un trato responsable con el medio ambiente.

El biodiesel ha desarrollado cambios a raíz de crisis de petróleo hasta la actualidad, desde esa época se ha venido intentando el uso de biodiesel a partir de diversas fuentes, tanto primarias como secundarias. A partir de 1997 con la firma del Protocolo de Kioto de la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático y su posterior ratificación en febrero 2005, los esfuerzos se han intensificado. (Tirado Hernández, 2011).

Actualmente se puede utilizar el biodiesel en dos diferentes tipos de motores, en primer lugar, aquellos que usan una mezcla de combustible fósil y aceite vegetal (gasohol). En segundo lugar, aquéllos que necesitan un sistema previo de calefacción para poder llevar el aceite vegetal puro directamente al motor. Para esto es necesario llevar este combustible a más de 50 °C, además no deben haber piezas de caucho o jebe (todo debe ser de material plástico) ya que el aceite vegetal puro (biodiesel 100 %) es capaz de disolverlo.

7.4. Uso de biodiesel y especificaciones

El uso del biodiesel ha aumentado de manera vertiginosa ya que entre 1990 y el presente año ha aumentado de prácticamente cero a dos mil millones de litros. Esto ha tenido tal impacto que la Unión Europea ya ha normalizado las características técnicas del biodiesel. En la figura 1 se presentan los criterios y valores de esta norma.

Figura 1. **Norma de la Unión Europea para el biodiesel**

Criterios	Biodiesel (EN14214)
Densidad @ 15 °C (g/cm ³)	0.86-0.9
Viscosidad @ 40 °C (mm ² /s)	3.5-5.0
Punto flash(°C)	>101
Azufre (% masa)	<0.01
Ceniza de Azufre (% masa)	0.02
Agua (mg/kg)	<500
Residuo de Carbono (% peso)	<0.03
Contaminación Total (mg/kg)	<24
Corrosión del Cobre 3h/50 °C	Clase I
Número de Cetano	>51
Metanol (% masa)	<0.2
Contenido de Éster (% masa)	>96.5
Monoglicéridos (% masa)	<0.8
Diglicéridos (% masa)	<0.2
Triglicéridos (% masa)	<0.4
Glicerol Libre(% masa)	<0.02
Glicerol Total (% masa)	<0.25
Número de Yodo	120
Fósforo (mg/kg)	<10
Metales Alcalinos Na. K (mg/kg)	<5

Fuente: Norma Europea EN 14214.

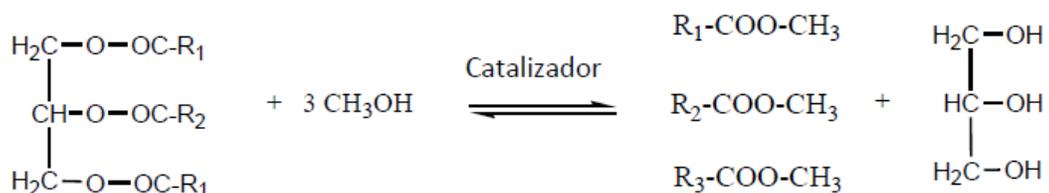
En países que cuentan con megalópolis, como por ejemplo la ciudad de Sao Paulo en Brasil, se vienen desarrollando proyectos de recuperación de aceite vegetal usado para su transesterificación y la producción de biodiesel. En el caso peruano, similares esfuerzos se han llevado a cabo en la Universidad Nacional Agraria de La Molina y se realizan en la Universidad Nacional Mayor de San Marcos. En todos estos casos se requiere de una norma para el procesamiento y utilización de biodiesel, usualmente se hace referencia o utiliza la Norma Europea. (Quiñones Cantor, 2003).

7.5. Métodos de obtención de biodiesel

El biodiesel es un biocombustible líquido que se obtiene a partir de aceites vegetales y grasas animales. Presenta características parecidas al diesel de petróleo y se puede usar en vehículos con motores diesel como sustituto del derivado de petróleo. “Se denomina biodiesel en general, a la mezcla de ésteres metílicos o etílicos de ácidos grasos obtenidos a partir de la transesterificación de aceites vegetales o grasas y un alcohol como metanol o etanol, en presencia de un catalizador básico”. (Tirado Hernández, 2011).

Los aceites vegetales y grasas, desde el punto de vista químico, están formados principalmente por triglicéridos. Cada molécula de triglicérido está compuesta de tres cadenas de ácidos carboxílicos que contienen entre 8 y 22 átomos de carbono unidos por una estructura de glicerol. En la reacción de transesterificación alcalina, el triglicérido reacciona con metanol en medio básico dando lugar a una mezcla de ésteres metílicos de ácidos grasos (biodiesel) y a la glicerina como subproducto como se observa en la figura 2 la obtención de biodiesel a partir de aceites no comestibles.

Figura 2. **Reacción de transesterificación de triglicéridos con metanol**



Fuente: (Tirado Hernández, 2011).

La obtención de biodiesel no es un proceso directo sino que se requiere extraer el aceite o los triglicéridos del material vegetal, transesterificar con metanol anhidro, neutralizar la base utilizada como catalizador, purificar y finalmente destilar los ésteres metílicos obtenidos. Por otra parte, cuando se alcanza el equilibrio en la reacción existen triglicéridos que permanecen sin reaccionar así como de glicerina que hacen que se incremente la viscosidad en el producto final, produciendo problemas de miscibilidad y puede causar daño directo en el motor.

De acuerdo a (Días, 2006) en los siguientes párrafos se detalla la obtención de biodiesel a través de plantas oleaginosas.

Es por esto que se ha venido también investigando el potencial de diversas plantas oleaginosas para la producción de biodiesel a partir de cultivos. En el mundo los cultivos más usados para la producción de biodiesel son la colza, la soya, el girasol y la palma de aceite.

Es necesario señalar que en el proceso de preparación del biodiesel no solo intervienen las plantas oleaginosas, sino que se necesita metanol o etanol y catalizadores (por ej. hidróxido de potasio) para la preparación del producto transesterificado. También se obtiene como subproducto glicerina.

El metanol o etanol requeridos para este proceso también pueden ser obtenidos a través de procesos de fermentación de materia vegetal (por ejemplo frutos no comestibles o caña de azúcar).

7.6. Obtención de aceites vegetales

Los aceites vegetales más utilizados para la obtención del biodiesel generalmente derivan de la soya, la colza, la palma aceitera y el girasol, dependiendo de cuál sea el aceite más abundante en el país de origen. En Estados Unidos el aceite de soya es el más abundante, mientras que en Europa lo es el aceite de colza y girasol. En México, el aceite de piñón y la palma aceitera constituyen las principales fuentes de aceite para su conversión en biodiesel.

El aceite vegetal puro (sin transesterificar) llamado bio-aceite, se puede utilizar directamente como biocombustible puesto que presenta propiedades fisicoquímicas similares a las del diesel en cuanto a densidad, poder calorífico e índice de cetano, aunque presenta una notable diferencia en cuanto a su viscosidad. Su uso directo reduce la potencia del motor y requiere modificaciones importantes en los motores de diesel.

El proceso para obtener aceite de las semillas es muy conocido y utilizado desde hace muchos años, lo único que ha variado es la tecnología que se utiliza en diferentes partes del mundo. La extracción implica la trituración de las semillas para obtener el aceite iniciando la obtención en Holanda y Alemania en los años 80's y 90's. En el caso del piñón, la extracción del aceite es por medio de su molienda y presión mecánica con diferentes aparatos. (FACT, 2009).

El aceite de origen vegetal es la materia prima más usada para la obtención de biodiesel. Dependiendo del origen geográfico será el tipo de aceite que más predomine. Se debe tomar en cuenta principalmente que el uso de aceites no debe impactar en los precios de los alimentos a nivel local y tampoco debe promover la deforestación para crear áreas de cultivo de plantas

oleaginosas. Dentro de los aceites vegetales más comúnmente usados se encuentran los siguientes:

El aceite de soya es el que se obtiene de la planta leguminosa *Glycine max L.*, que es originaria principalmente de los países orientales. Su contenido de aceite varía entre 13 y 26 % en base seca. El aceite crudo se obtiene por presión o por el uso de disolventes. Su color es ámbar y después de refinarse adquiere una tonalidad amarilla brillante (Guerrero, 1992). La composición promedio del aceite de soya es: ácidos grasos monoinsaturados (22,6 %), ácidos grasos poli-insaturados (61,2 %), ácidos grasos saturados (16,2 %)

El aceite de colza, que es el proveniente de la planta *Brassica napus L.* Los países que lideran la producción de aceite de colza son China e India. El rendimiento del aceite representa alrededor del 40 % respecto al peso de la semilla. La composición promedio del aceite de colza es: ácido erúxico (45-54 %), ácido linoleico (10-19 %), ácido linolenico (5-9 %) además de vitamina E (55-80 mg/100 g aceite).

El aceite de canola, que proviene de Canadá y su nombre se adoptó por primera vez en 1979 a todas las variedades de semillas de nabo modificadas genéticamente. Su nombre deriva de las siglas (Canadian Oil of Low Acid). El contenido de aceite en las semillas es de 40-45 % y son ricas en ácido oleico que es muy similar al aceite de oliva. Posee un contenido de 30-35 % de ácidos grasos poli-insaturados.

Aceite de girasol, que es el obtenido de la semilla de la planta *Helianthus annuus L.*, que es nativa de América del Norte. Las semillas poseen un contenido alto de aceite (40-50 %). El ácido linolenico es el más abundante y se considera un ácido graso esencial. Debido a las insaturaciones que presenta

se oxida fácilmente. Su color después de refinado es amarillento y su composición promedio es: ácidos grasos monoinsaturados, obtención de biodiesel a partir de aceites no comestibles 18 (20,2 %), ácidos grasos poli-insaturados (63,3 %), ácidos grasos saturados (11,9 %), ácido linoleico (36,8 %), ácido oleico (11,2 %).

Y por último y más importante para nosotros en Guatemala, está el aceite de palma, este proviene de la palma aceitera (*Elaeis guineensis L.*), la cual posee un contenido de aceite de aproximadamente 21 % en el mesocarpio de su fruta. Es el tipo de aceite más producido solamente superado por el aceite de soya. La palma aceitera es originaria de África Occidental. Su cultivo en Malasia es de gran importancia económica puesto que es el productor líder de aceite de palma. Su composición promedio es: ácido palmítico (40-48 %), ácido oleico (37-46 %), ácidos grasos poli-insaturados (10 %).

7.7. Ventajas e inconvenientes del uso del biodiesel

Las principales ventajas del uso del biodiesel comparado con el diesel son medioambientales, entre las principales se encuentra:

- Produce menos monóxido de carbono
- Emite menor cantidad de partículas sólidas
- Se reduce la cantidad de hidrocarburos aromáticos
- Menor cantidad de dióxido de carbono. Se considera que el CO₂ emitido a la atmósfera durante la combustión es el mismo que el absorbido por la planta durante su crecimiento, por lo que la combustión del biodiesel no contribuye al efecto invernadero sin embargo, la obtención de biodiesel no es directa y en el proceso de preparación se requiere energía por lo que se emite dióxido de carbono, aunque en menor proporción.

- Eliminación en la emisión de óxidos de azufre, ya que el biodiesel no contiene azufre.
- Es biodegradable. Esta propiedad evita la posibilidad de causar impactos ambientales negativos en caso de derrame accidental.
- No es tóxico
- Es lubricante
- Presenta elevados puntos de ebullición e inflamación (mayores a 100 °C), además de una extremada baja presión de vapor que hacen que presente una elevada seguridad en su manejo y almacenamiento.
- Es compatible con la mayoría de motores diesel actualmente comercializados.
- Se obtienen de fuentes renovables que son prácticamente inagotables.
- Al utilizar plantas oleaginosas como materia prima para la producción de biodiesel se evita la erosión del suelo.
- Su uso como fuente energética mejora la autosuficiencia regional, puesto que se pueden cultivar especies oleaginosas que produzcan aceites en cualquier región del mundo que cuente con suelos aptos para el cultivo. Esto contribuye a disminuir la dependencia del petróleo de dicha región geográfica.

En la tabla I se comparan las emisiones de la combustión de diesel con las de una mezcla de biodiesel, como puede observarse, el biodiesel no emite a la atmósfera óxidos de azufre y en general, posee niveles de emisión de gases inferiores a los del diesel convencional de petróleo. (Szybist, 2007).

Tabla I. Comparación de los niveles de emisión de contaminantes a la atmósfera para el diesel y biodiesel

Emisión	Biodiesel 100%	Biodiesel 30%	Diesel de petróleo
CO, % peso	0.37	0.43	0.46
Hidrocarburos no quemados, % peso	0.03	0.04	0.04
NO ₂ , % peso	2.73	3.37	3.64
Partículas, % peso	0.62	1.48	1.85
CO ₂ , % peso	0.87	3.53	4.67
SO ₂ , % peso	0.00	1.14	1.62

Fuente: (Szybist, 2007).

Entre los inconvenientes del biodiesel como combustible destacan, de acuerdo a (Climent, 2010):

- Desprende una menor cantidad de energía que el diesel de petróleo en la combustión (aproximadamente 10 % menos) por lo que el consumo de biodiesel tiene que incrementarse para igualar el poder calorífico perdido mediante combustión. Así, un automóvil convencional que funciona a base de diesel requiere en general 0,92 litros de diesel o un litro de biodiesel para recorrer la misma distancia.
- La calidad del arranque en frío es menor, debido a que la densidad y viscosidad del biodiesel son mayores que las del diesel de petróleo.
- Actualmente, el biodiesel no está considerado como una alternativa definitiva y los motores de automóviles no han sido totalmente optimizados para su uso.
- Debe evitarse un almacenamiento superior a 6 meses, ya que tiende a degradarse.

- Se requiere usar metanol para su obtención, que generalmente es un derivado del petróleo.
- Producir biodiesel es más caro que producir diesel de petróleo, aunque la opción es rentable si hay subsidios gubernamentales y estímulos fiscales en su producción y/o utilización. Por ejemplo, en Estados Unidos de América el costo de un galón de B-20 es de USD 2,69 mientras que el de diesel de petróleo es de USD 2,64.
- Se requieren grandes superficies de cultivo, puesto que toda la plantación sólo genera en promedio 7 % de combustible.
- La utilización de monocultivos produce el agotamiento del suelo y obliga a usar grandes cantidades de pesticidas para controlar las posibles plagas. Se sabe que la extensión de un único cultivo provoca un desequilibrio ecológico puesto que siempre es mucho más susceptible a las plagas que una zona donde existan cultivos mixtos con diversas especies.
- Dedicar cultivos a la obtención de biodiesel podría llegar a competir con los cultivos dedicados a la alimentación, sobre todo en países en vías de desarrollo.
- Aunque existe controversia respecto al balance energético (relación entre la energía que produce su combustión y la energía que se requiere para su obtención), en estudios recientes se ha mostrado que este es negativo.

8. HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN

La eficiencia y productividad de la planta generadora de biodiesel se incrementará considerable y continuamente mediante la implementación, control y mejora de los procedimientos y controles que permitan mantener la materia prima aceite usado cumpliendo las características fisicoquímicas suficientes y necesarias para su ingreso al proceso.

VARIABLES DEPENDIENTES, con mediciones antes de cambios y después de cambios o implementación de mejoras.

VARIABLES CUANTITATIVAS, DEPENDIENTES:

- a) Poder calorífico (kcal/kg)
- b) Porcentaje de sólidos (porcentaje, m/m)
- c) Porcentaje de agua (porcentaje, m/m)
- d) pH (adimensional)
- e) Volumen recolectados (m^3)
- f) Tiempo (horas)
- g) Costo (Q)

VARIABLES INDEPENDIENTES, CUALITATIVAS:

- a) Procedimiento de manejo de aceite usado
- b) Procedimiento de muestreo de aceite usado en el proceso
- c) Tabla de eficiencia mejorada de la planta de biodiesel

9. CONTENIDO

El contenido general del presente trabajo se basa en los principios básicos y definiciones del biodiesel, las principales fuentes con la que se puede obtener y la mejora de los procesos de manejo desde su recolección hasta la puesta a disposición para su reutilización en la planta de generación de biodiesel.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

OBJETIVOS

HIPÓTESIS

INTRODUCCIÓN

1. PROCEDIMIENTO DE RECOLECCIÓN DE ACEITE USADO
 - 1.1. Evaluación del método actual
 - 1.2. Determinación de oportunidades de mejora
 - 1.3. Elaboración de procedimiento
 - 1.4. Programa de capacitación

2. IMPACTO AMBIENTAL DEL MANEJO ACTUAL DEL ACEITE USADO
 - 2.1. Evaluación de la cantidad de aceite usado actualmente desperdiciado

- 2.2. Evaluación de los puntos contaminados con el aceite usado desperdiciado
 - 2.3. Cuantificación de la contaminación causada por el aceite usado, previo a las mejoras del presente estudio
 - 2.4. Cuantificación de la contaminación causada por el aceite usado, posterior a las mejoras del presente estudio
3. SISTEMA DE CALIDAD DEL ACEITE USADO
- 3.1. Determinación de las variables a analizar
 - 3.1.1. Variables del aceite como materia prima
 - 3.1.2. Variables del aceite como producto en proceso
 - 3.2. Determinación de los rangos o intervalos de aceptación
 - 3.2.1. Variables del aceite como materia prima
 - 3.2.2. Variables del aceite como producto en proceso
 - 3.3. Determinación de los puntos de muestreo
 - 3.4. Determinación de las 3 calidades de aceite usado que se utilizarán para la planta de biodiesel
4. EVALUACIÓN DE RENDIMIENTO Y MEJORAS EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO
- 4.1. Determinación de las variables a analiza
 - 4.2. Determinación de los puntos de muestreo
 - 4.3. Eficiencia de la planta con cada calidad de aceite a utilizar
 - 4.4. Determinación de diferencia de la situación inicial y mejoras implementadas

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS
APÉNDICES

10. MÉTODOS Y TÉCNICAS

El procedimiento experimental para el desarrollo del trabajo de graduación, se divide en 4 fases:

Fase 1. Determinación del procedimiento de manejo y transporte de aceite usado

- Observación cualitativa
 - Revisión de procesos en restaurantes, centro de distribución y planta de biodiesel.
 - Diagrama de flujo de procesos por cada una de las 3 áreas y diagrama general.
 - Toma de fotografías

- Verificación de herramientas y equipo de laboratorio a utilizar

- Diseño del cuestionario de opción múltiple, para la validación del proceso de almacenaje y transporte
 - Diseño de cuestionario en conjunto con personal de operaciones y supervisores de las áreas involucradas
 - Validación de cuestionario con el personal operativo de restaurantes, centro de distribución y planta de procesamiento

- Diagrama de flujo del proceso actual
 - Visita a 11 restaurantes para verificar el proceso de manejo y condiciones del aceite usado. Se tomarán datos de 11

restaurantes para la prueba piloto de los 314 restaurantes totales. Se realizará la muestra del 3,5 % de restaurantes debido a que son los más cercanos al laboratorio de análisis y la planta de tratamiento, por limitaciones de tiempo y espacio de almacenamiento de muestras.

- Recorrido completo en 3 rutas de distribución, las que reciben el aceite usado de 11 restaurantes.
- Toma de tiempos del proceso de recolección de aceite usado y medición de volúmen.
- Realización del diagrama de flujo de procesos por cada áreas y determinación de los puntos críticos y oportunidades de mejora.

Fase 2. Diseño del programa de capacitación

- Diseño del proceso de capacitación en restaurantes
- Diseño del documento de capacitación
- Realización de la capacitación en cascada

Fase 3. Determinación de la calidad del aceite usado y las variables a analizar

- Toma y análisis fisicoquímico de muestras del proceso actual.
 - Toma de muestras en 4 puntos distintos para análisis fisicoquímicos (pH, porcentaje de sólidos, porcentaje de agua, poder calorífico), los distintos puntos de muestreo son: restaurantes, ingreso al centro de distribución, salida del centro de distribución y al ingreso a la planta de tratamiento
 - Análisis fisicoquímico de las 4 muestras tomadas por día, en total se tomarán muestras 5 días a la semana, es decir 20 muestras por semana, en total 80 muestras.

- Análisis del diagrama de flujo de procesos para determinar los puntos críticos y oportunidades de mejora de tiempo, volumen y calidad del aceite recolectado.
- Análisis de los resultados obtenidos de las variables fisicoquímicas analizadas en laboratorio, determinación de las mejores condiciones de almacenamiento y transporte para obtener la mejor calidad de aceite usado.
- Determinación del tiempo óptimo de recolección y las mejores condiciones de almacenamiento y transporte, en base al análisis de tiempo y volumen recolectado.
- Análisis de las desviaciones del proceso en base al análisis de las desviaciones estándar de cada variable fisicoquímica y la encuesta al personal operativo.
- Realización del plan de mejora del procedimiento de recolección.
- Realización del plan de monitoreo permanente de características fisicoquímicas del aceite en el proceso.

Fase 4. Análisis del rendimiento en la planta de tratamiento.

- Determinación de las variables a analizar
- Determinación de los puntos de muestreo
- Evaluación de las distintas calidades de aceite usado
- Determinación de rendimientos inicial y mejoras con distintas calidades de aceite.
- Implementación de las acciones correctivas
- Observaciones posprueba
- Comparación de resultados
- Monitoreo y mantenimiento de la mejora continua
- Para el diseño experimental se definirán los dos puntos de toma de muestra, se realizarán 2 repeticiones por muestra y la frecuencia de

muestro será diaria de lunes a viernes, abajo una tabla de ejemplo para la tabulación de los resultados obtenidos por cada punto de muestreo de los 4 que se realizarán.

Tabla II. **Tabla de datos experimentales**

Variable	Lunes		Martes		Miércoles		Jueves		Viernes	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Poder Calorífico										
% sólidos										
Agua										
Ph										
Volumen (1,2,3)										
Tiempo										
Costo										

Fuente: elaboración propia.

11. RECURSOS NECESARIOS

Materiales utilizados.

- Papelería y útiles para análisis *in situ* y reportes iniciales.
- Equipo de laboratorio para mediciones de parámetros fisicoquímicos de pH (potenciómetro), porcentaje de sólidos (sedimentación y secado), porcentaje de agua (densitómetro) y poder calorífico (bomba calorimétrica). Se utilizará solamente 1 equipo para cada análisis.
- Elementos químicos para limpieza de equipos de medición, acetona, alcohol y agente secante sílica gel. Se utilizarán los materiales necesarios para 2 pruebas diarias de laboratorio, en cada uno de los parámetros a analizar, por un período de un mes.
- Equipo de oficina para elaboración de reportes.

Recursos humano.

- Analista de laboratorio, 1 hora diaria, total 30 horas/hombre
- Asesor de tesis, 2 horas semanales, total 16 horas
- Elaboración de tesis, 6 horas semanales, total 48 horas

Costos estimados del estudio

Tabla III. **Recursos necesarios**

a) Papelería y útiles	Q 900,00
b) Elementos químicos y pruebas de laboratorio, pH, Sólidos, Capacidad Calorífica, Viscosidad, Densidad	Q 1200 por muestra, Total de muestras = 60 Costo Total = Q 72 000,00
c) Recurso humano	Costo promedio por hora= Q 35,00 Total de horas = 94 Costo total = Q 3 290,00
Costo total estimado del estudio	Q 76 190,00

Fuente: elaboración propia.

12. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

ACTIVIDADES	Mes	AGOSTO				SEPTIEMBRE				OCTUBRE				NOVIEMBRE				DICIEMBRE				
	Semana	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
Fase 1: Fase de inicio																						
Fase 2: Recolección de datos del proceso actual																						
Fase 3: Análisis de los datos y acciones correctivas																						
Fase 4: Implementación de la mejora de procesos																						
Elaboración de informe final																						

13. BIBLIOGRAFÍA

1. Acevedo, C. (2007). *La cogeneración con biodiesel como factor de desarrollo económico en zonas no interconectadas de Colombia*. Colombia: Universidad Nacional.
2. Benjumea, P. N. (2009). *Biodiesel: producción, calidad y caracterización*. Antioquia: Universal de Antioquia.
3. Biocomustibles, C. N. (2007). *Atlas de la Agroenergía y los biocombustibles de las Américas II Biodiesel*. Recuperado el 19 de marzo de 2013, de <http://www.google.books.com>
4. Calvo, E. E. (2006). Biocombustibles de plantas para la producción de biodiesel. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 2-3.
5. Climent, M. (2010). *Química Orgánica. Principales aplicaciones industriales*. México D.F.: Limusa.
6. Días, F. (2006). *Evaluación de la disponibilidad y purificación de aceites vegetales gastados a escala de laboratorio*. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander.
7. *El Financiero*, (2008). Recuperado el 19 de marzo de 2013, de <http://www.elfinancierocr.com>

8. FACT. (2009). *Fuels from Agricultural in Communal Technology*. Recuperado el 02 de 03 de 2013, de www.fact-foundation.com
9. Fraile, F. G. (2003). *Seis Sigma*. España: FC Editorial.
10. Molina, C. (2006). *Biocombustibles en Argentina*. Buenos Aires: Universidad Nacional de Argentina.
11. *Next Fuel*. (2008). Recuperado el 19 de marzo de 2013, de <http://www.biodiesel.com.ar>.
12. Quiñones Cantor, L. (2003). *Dimensionamiento y montaje de un reactor piloto para la obtención de biodiesel*. Bogotá: Universidad Nacional de Bogotá.
13. Scragg, A. (2009). *Biofuels, production, application and development*. Oxfordshire: Cabi Head Office.
14. Szybist, J. (2007). *Biodiesel combustion, emissions and emission control*. Fuel Processing Technology. California, EE.UU.
15. Tirado Hernández, J. A. (2011). *Obtención de biodiesel a partir de aceites no comestibles*. México D.F.: Instituto Politécnico Nacional.