



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO**

FACULTAD DE INGENIERÍA

**SISTEMA DE RECOLECCIÓN DE ACEITE USADO PARA
CONVERSIÓN EN BIODIESEL**

**T E S I S
QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:
INGENIERO INDUSTRIAL
P R E S E N T A:**

OMAR GABRIEL DÍAZ CARTAS

Director de Tesis: Dra. Claudia Sheinbaum Pardo

CIUDAD UNIVERSITARIA, D.F., 2014





Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Agradecimientos

A mis padres Gabriel y Clemencia por todo el apoyo, amor, enseñanzas y motivación que me han brindado a lo largo de mi vida para poder superarme.

A mis hermanas Jessica y Gabriela por ser un ejemplo a seguir, por su apoyo y todos aquellos momentos de tristeza, felicidad, enojo y amor que nos convierten en hermanos.

A mis tíos Arturo y Guadalupe por sembrar en mi los deseos de ser una mejor persona cada día.

A mis abuelas y abuelos, a todas mis tías y tíos, a mis primos y amigos por creer, confiar en mí, darme su cariño, apoyo y amistad.

A la honorable Facultad de Ingeniería y a la Universidad Nacional Autónoma de México por abrirme sus puertas y otorgarme la oportunidad de convertirme en ingeniero.

A la Dra. Claudia Sheinbaum Pardo por ser una persona digna de admiración, por brindarme su apoyo y asesoría.

A los profesores de la facultad que me formaron como ingeniero y me compartieron sus conocimientos y experiencias a lo largo de la carrera.

A la Secretaría de Ciencia Tecnología e Innovación del GDF y al Instituto de Ingeniería por la beca que me permitió realizar este trabajo.

Atte.: Omar Díaz

Índice

Objetivos.....	7
1. Introducción.....	8
1.1 Justificación.....	8
1.2 Metodología.....	10
2. La bioenergía.....	11
2.1 Biocombustibles y gases de efecto invernadero.....	13
3. El biodiesel.....	15
3.1 Características.....	15
3.2 Elaboración de Biodiesel.....	16
3.3 Ventajas y Desventajas de Biodiesel frente el Diésel.....	18
3.4 Producción de biodiesel a partir de aceite de cocina usado (ACU).....	21
4. Lugares del mundo con sistemas de recolección de ACU para biodiesel.....	24
4.1 Estados Unidos.....	24
4.1.1 <i>Recolección de aceite en Knoxville y Atenas (Georgia y Tennessee).....</i>	<i>24</i>
4.1.2 <i>Alternativa de combustible en Tallahassee, Florida.....</i>	<i>25</i>
4.1.3 <i>Reciclado de aceite de cocina en Asheville, Carolina del Norte.....</i>	<i>25</i>
4.1.4 <i>Reciclado de aceite en la ciudad de Nueva York.....</i>	<i>25</i>
4.1.5 <i>Programa de biodiesel en el condado de St. Johns, Florida.....</i>	<i>26</i>
4.1.6 <i>Programa de reciclamiento de aceite en el condado de Alachua, Florida.....</i>	<i>26</i>
4.1.7 <i>Programa de producción de biodiesel en Syracuse University’s Whitman School of Management.....</i>	<i>26</i>
4.1.9 <i>Recolección de aceite en Greensboro, Carolina del Norte.....</i>	<i>27</i>
4.1.10 <i>Ciudad de Raleigh, Carolina del Norte.....</i>	<i>27</i>
4.1.11 <i>Ciudad de Cary, Carolina del Norte.....</i>	<i>27</i>
4.1.12 <i>Recolección de aceite en Oregón, Washington y Idaho.....</i>	<i>28</i>
4.1.13 <i>De la freidora a combustible, Santa Cruz, California.....</i>	<i>28</i>
4.1.14 <i>Reciclamiento de aceite, Condado de San Joaquín, California.....</i>	<i>28</i>
4.2 Argentina.....	29

4.2.1 Municipio de Quilmes, Provincia de Buenos Aires	29
4.2.2 Basura cero Bahía, Bahía Blanca, Provincia de Buenos Aires.	29
4.2.3 Diversos municipios de la provincia de Argentina.....	29
4.3. España	29
4.3.1 Recolección de aceite vegetal usado de uso doméstico en Alcalá de Henares	29
4.4 Ecuador.....	30
4.4.1. Quito.....	30
4.5 México	30
5. Estimación del potencial disponible de ACU para su conversión en biodiesel en la Ciudad de México.....	34
5.1 Estimación del consumo de aceite en la Ciudad de México a partir de las ventas nacionales	34
5.1.1 Metodología	34
5.1.2. Resultados	35
5.2 Estimación del consumo de aceite en la Ciudad de México a partir de encuestas a restaurantes	36
5.2.1 Metodología	36
5.2.2 Resultados	39
5.3 Estimación de la producción de biodiesel a partir aceite de cocina usado	41
5.3.1. Tasa de recuperación	41
6. Estimación de uso del biodiesel de ACU en autobuses y la reducción de emisiones contaminantes (Gases de Efecto Invernadero GEI)	43
6.1 Mezcla diésel-biodiesel	43
6.2 Potencial de uso de biodiesel de ACU en autobuses en la Ciudad de México.....	43
6.3 Contaminantes locales	45
6.4 Disminución de GEI	47
6.5 Agua.....	49
7. Implementación de un sistema de recolección de aceite usado en la Ciudad de México	51
7.1 Descripción del proyecto.....	51
7.1.1 Objetivo del proyecto	51
7.1.2. Participantes.....	51

7.1.3 Componentes del proyecto.....	52
7.2 Alcances.....	54
7.3 Potencial de reducción de emisiones de los mercados de la delegación Cuauhtémoc.....	55
7.3.1 Estimación del consumo de aceite y producción de ACU.....	55
7.3.2 Uso de biodiesel en autobuses de RTP.....	56
7.3.3 Emisiones.....	56
Las emisiones evitadas por autobús son significativas puesto que si cada camión del DF utilizará la mezcla de biodiesel, la contaminación del aire, se vería reducida en un gran porcentaje.....	57
7.4 Costos.....	57
7.4.1 Costo del diseño del sistema y capacitación.....	57
7.4.2 Costos de la empresa (con y sin inversión).....	59
7.5 Costo por litro de biodiesel producido.....	65
7.6 Punto de Equilibrio.....	66
8. Evaluación de la operación del sistema de recolección de aceite de cocina usado para producir biodiesel.	68
8.1 Lean Manufacturing.....	68
8.1.1 “9 Desperdicios”.....	68
8.2 Herramientas de Lean Manufacturing.....	69
8.3 Aplicación de las herramientas de Lean Manufacturing al sistema de recolección de ACU, según su Diseño Actual.....	71
8.3.1 Etapa de almacenamiento de ACU por local.....	73
8.3.2 Etapa de Almacenamiento de ACU por mercado.....	73
8.3.3 Etapa de recolección de ACU.....	73
8.3.4 Monitoreo.....	74
8.3.5 Verificación.....	74
8.4 Propuestas de Mejora.....	76
8.4.1 VSM: Mapa del Flujo de Materiales.....	76
8.4.2 Paradigmas.....	83
8.4.3 SMED.....	84
8.4.4 Estandarización.....	85
8.4.5 Poka-Yoke.....	88

8.4.6 5's	90
9. Conclusiones	91
Índice de Figuras	95
Índice de Tablas.....	96
Acrónimos.....	98
Anexos	99
Anexo I. Encuesta sobre el consumo de aceite en restaurantes con servicio completo y de autoservicio con servicios limitados en el Distrito Federal	99
Anexo II. Composición de la flota de autobuses RTP	100
Anexo III. Costos asociados al proceso de producción (fragmento tomado de la tesis de Ramírez)	101
Fuentes	103

Objetivos

El objetivo general de esta tesis es evaluar un sistema de recolección de aceite de cocina usado para su conversión en biodiesel.

Los objetivos particulares son los siguientes:

- a) Evaluar el potencial de uso de biodiesel proveniente de aceite de cocina usado (ACU) en la Ciudad de México, a partir de estimaciones indirectas de ventas de aceite de cocina a nivel nacional.
- b) Evaluar el potencial de uso de biodiesel proveniente de aceite de cocina usado obtenido por medio de un sistema de recolección en restaurantes y mercados de la delegación Cuauhtémoc en el Distrito Federal y estimar, las emisiones a la atmósfera por su uso en autobuses en la Ciudad de México.
- c) Con base en ello, diseñar y evaluar el potencial de un sistema de recolección de aceite de cocina usado en los diferentes mercados de comida de la delegación Cuauhtémoc con la finalidad de ser aprovechado para la elaboración de Biodiesel.
- d) Evaluar la reducción de emisiones de partículas (PM), óxidos de nitrógeno (NOx), monóxido de carbono (CO) y dióxido de carbono del uso de mezcla biodiesel-diésel en autobuses en la Ciudad de México comparado contra diésel convencional.
- e) Estimar los costos del sistema de recolección y producción de biodiesel
- f) Evaluar el funcionamiento del sistema de recolección con base en el diagnóstico de sus áreas de oportunidad y propuestas de mejora.

1. Introducción

Al utilizar el biodiesel a partir de aceite de cocina usado, los costos del combustible son menores ya que el biodiesel es más barato que el diésel. La sociedad se beneficia puesto que los recursos sobrantes debido al menor costo del combustible puede ser reinvertidos para mejorar el servicio.

En cuanto al medio ambiente al utilizar la mezcla biodiesel-diésel se genera una menor emisión de contaminantes a la atmósfera comparada con el diésel convencional, particularmente por una reducción de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI).

En el trabajo se calcula la disponibilidad del ACU en diferentes restaurantes de comida rápida, se presentan diferentes sistemas de recolección de ACU en diferentes partes del mundo y se estima el potencial de reducción de contaminantes el medio ambiente, así como los costos que representa el sistema de recolección y su uso.

1.1 Justificación

El aceite de cocina usado es un residuo catalogado como “de manejo especial” en la Ley de Residuos Sólidos del Distrito Federal, que puede generar problemas ambientales cuando su disposición final es inadecuada. Cuando se dispone en coladeras puede provocar graves taponamientos de los sistemas de drenaje, además que contamina el agua. En caso de tenerlo junto con los residuos sólidos urbanos para su posterior depósito en rellenos sanitarios, los contenedores en donde se almacena, pueden romperse o tener fugas que pueden provocar un alto contenido de grasas en lixiviados y posible contaminación de cuerpos de agua.

El aceite de cocina usado puede ser utilizado como materia prima para alimento de ganado, aunque con posibles problemas de salud para los animales, o puede ser utilizado en la industria química, para la elaboración de jabones, entre otras cosas. Otra forma de aprovecharlo es transformarlo en combustible. La ventaja es que por ser un combustible proveniente de biomasa, genera menos emisiones de gases de efecto invernadero y de

utilizarse en autobuses con tecnologías modernas, reduce también la contaminación atmosférica, más adelante se hace una breve descripción de los antecedentes del tema.

En el año 2012, el grupo de Energía y cambio climático del Instituto de Ingeniería de la UNAM, bajo la coordinación de la Dra. Claudia Sheinbaum, inició un proyecto patrocinado por el Instituto de Ciencia y Tecnología del Gobierno del Distrito Federal (hoy Secretaría de Ciencia, Tecnología e Innovación) con el objeto de evaluar el potencial técnico y económico del uso de ACU para su conversión en biodiesel en la Ciudad de México, así como el potencial de reducción de gases contaminantes y de efecto invernadero. La segunda parte del proyecto, consiste en el desarrollo de un programa piloto de recolección de ACU para su conversión en biodiesel y uso en autobuses de la Red de Transporte de Pasajeros del D.F. (RTP). Esta tesis reporta una parte fundamental de dicho trabajo, del cual he formado parte desde mi servicio social y hasta el desarrollo de esta tesis.

Por esta razón, como antecedente a este trabajo, destacan las tesis de Calderón (2012), Ramírez (2014), el informe de Sheinbaum *et al.* (2013) y la publicación de Sheinbaum *et al.* (2013). En estos trabajos se estimó el potencial de conversión de aceite de cocina usado en el país, se desarrolló una metodología para el cálculo de emisiones de bióxido de carbono (CO_2) y se reportó el resultado de mediciones de contaminantes tales como el monóxido de carbono (CO), hidrocarburos (HC) y óxidos de nitrógeno (NO_x) para diferentes mezclas de combustible biodiesel-diésel.

La contribución de esta tesis radica en desarrollar, analizar y exponer los resultados del estudio de caso que se llevó a cabo en los mercados de la delegación Cuauhtémoc en la Ciudad de México, cuyo objetivo es el de recolectar el ACU para su transformación en biodiesel y su utilización en autobuses de la Red de Transporte de pasajeros del Distrito Federal.

La tesis se divide en nueve capítulos. Posterior a la introducción, el segundo capítulo explica qué es la bioenergía y su importancia como combustible para mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero. El tercer capítulo se enfoca en el biodiesel, sus

características, proceso de producción, ventajas y desventajas frente al diésel proveniente del petróleo y en particular se menciona el caso del biodiesel producido a partir del aceite de cocina usado (ACU). El cuarto capítulo presenta una revisión de diversas ciudades del mundo que tienen sistemas de recolección de ACU para su conversión en biodiesel. En el capítulo cinco de este trabajo se presentan los resultados de la estimación de la disponibilidad de ACU para su conversión en biodiesel a partir de los datos de ventas de aceite comestible en el país y a partir de una encuesta aplicada a cadenas de restaurantes en la Ciudad de México. En el capítulo seis se estima el potencial de uso de biodiesel en autobuses RTP, la reducción de emisiones de GEI y los impactos ambientales del ACU. En el capítulo siete se describe el sistema de recolección de ACU, sus alcances, sus costos que y la estimación de los impactos ambientales que involucra. En el capítulo ocho se presenta la evaluación del funcionamiento del sistema de recolección basado en el diagnóstico de las áreas de oportunidad y las propuestas de mejora. Finalmente, en el capítulo nueve se presentan las conclusiones de la tesis y se mencionan las futuras líneas de investigación derivadas de este trabajo.

1.2 Metodología

El biodiesel forma parte de la bioenergía y es utilizado como combustible para diferentes tipos de vehículos. El uso de biodiesel tiene beneficios como la reducción de los contaminantes a la atmósfera, la contaminación del agua y los taponamientos del drenaje los cuales serán evaluados de acuerdo a los factores de emisión del uso de biodiesel.

El aceite usado de cocina es un residuo que puede ser aprovechado para la elaboración de biodiesel. Para recolectar el aceite usado de cocina se han implementado diferentes sistemas de recolección en el mundo que abarca desde restaurantes hasta la recolección en hogares, por lo que se analizarán dichos sistemas para usarlos como base en la implantación de un sistema para el Distrito Federal.

Se realizará una estimación del potencial de producción de biodiesel a partir de aceite usado de cocina y su potencial de uso en el transporte público del Distrito Federal a partir estudios previos sobre como calcular el potencial de producción de biodiesel.

Se evaluará la implementación de un sistema de recolección, sus alcances, costos y beneficios para la producción de biodiesel con herramientas de la ingeniería.

2. La bioenergía

En años recientes la bioenergía ha adquirido cada vez más importancia, pues representa un sustituto a los combustibles fósiles, pues se utiliza de forma sustentable.

La bioenergía se refiere a diferentes formas de energía renovable producida por la biomasa. La biomasa comprende cualquier material orgánico de origen vegetal o animal que proviene de actividades agrícolas, forestales y sus productos derivados; así como de la fracción renovable de los desechos industriales o municipales que se utilizan como materia prima para la producción de bioenergía o biomateriales no comestibles. La bioenergía incluye los biocombustibles, la generación de electricidad y calor proveniente de biomasa o el uso directo de la leña, carbón vegetal y desechos de ganado. La bioenergía puede ser utilizada en su forma sólida, transformada en biogás o en biocombustibles líquidos. Los biocombustibles que se producen en forma líquida, se utilizan principalmente para el sector transporte como sustitutos de la gasolina y el diésel; ya sea en forma total o en mezclas (OECD, 2007; EU, 2013; Gui *et al*, 2008).

En la actualidad pueden distinguirse dos tipos de biocombustibles líquidos: el bioetanol y el biodiesel. La producción actual de bioetanol proviene principalmente de la caña de azúcar, cereales (maíz), remolacha o betabel y el biodiesel de cualquier fuente de ácidos grasos, los cuales pueden obtenerse de semillas o grasas animales. Los cultivos de los que puede obtenerse el biodiesel pueden dividirse en aquellos que producen aceite comestible como la soya, la colza y la palma y aquellos que producen aceite no comestible o no apto para consumo humano o animal como la jatropha, el castor, la pongamia pinnata y el mango de mar (Gui *et al*, 2008). A los biocombustibles que provienen de fuentes comestibles se les denomina de primera generación (OECD, 2007; EU, 2013; Gui *et al*, 2008).

La producción masiva de biocombustibles de primera generación (agrocombustibles) puede representar al menos tres graves problemas, el primero, es la competencia por suelo y agua con los cultivos destinados a la alimentación, el segundo, es el impacto

ecológico del posible cambio de uso de suelo provocado por el incremento de actividades agrícolas para la producción de biocombustibles en detrimento de otros usos de suelo como el forestal y, el tercero, que su cultivo puede incrementar las emisiones de gases de efecto invernadero por el uso de fertilizantes, combustibles fósiles para el bombeo de agua o maquinaria y por el cambio de uso de suelo de pastizales y bosques para el cultivo de semillas o plantas destinadas a la transformación en biocombustibles (National Academies, 2009; Searchinger *et al*, 2008).

Por esta razón, en aquellas regiones y países donde el uso de biocombustibles ha adquirido importancia comienza a regularse su uso para condicionarlo a una producción sustentable que no represente competencia para las actividades agrícolas destinadas a la alimentación, ni cambios de uso de suelo (EU, 2013).

Así mismo, en los últimos años, ha habido un acelerado desarrollo de la tecnología para la utilización de celulosa en madera, tallos u hojas para producir la llamada segunda generación de biocombustibles (que se caracterizan por provenir de fuentes no comestibles) y posibilitar la transformación de cualquier tipo de biomasa en combustibles (National Academies, 2009). A pesar de los avances, su producción es mínima y aún hay limitaciones asociadas tanto a la producción de la materia prima, la integración de la cadena productiva como a los altos costos asociados con tecnologías que aún no entran a la etapa de comercialización. Los biocombustibles de tercera generación cuya producción se encuentra en etapa de investigación y desarrollo, utilizan otro tipo de biotecnologías y materia prima como es el caso de las algas. En este terreno de investigación se encuentra inclusive la manipulación genética con el objeto de aumentar la eficiencia de la fotosíntesis (King, 2010).

En este contexto, los biocombustibles provenientes de desechos tienen un gran valor que debe ser aprovechado. Se trata de materia prima disponible para su conversión en energía, que en la mayoría de los casos, debe ser tratada para no generar impactos ambientales negativos en su disposición final. En este caso se encuentra el aceite de

cocina usado (ACU), que a través de procesos de transformación sencillos puede utilizarse como biodiesel.

2.1 Biocombustibles y gases de efecto invernadero

La biomasa vegetal, incluyendo sus partes aéreas y subterráneas, constituye el principal medio de absorción de CO₂ de la atmósfera principalmente debido a la fotosíntesis. La biomasa forestal representa el principal reservorio de carbono y fuente de captura de CO₂. A diferencia de la producción forestal cuyos periodos de cultivo son de varios años, la biomasa no-forestal tiene una rotación anual o de cada pocos años y, por ende, las existencias de carbono netas en la biomasa pueden permanecer casi constantes, aunque pueden reducirse con el correr del tiempo si hay degradación de la tierra o cambio de uso de suelo (IPCC, 2006).

Si la producción de biomasa no forestal, en particular para el cultivo de biocombustibles, representa cambios de uso de suelo forestal a agrícola o inclusive de pastizales a agrícola, las emisiones de GEI en el ciclo total pueden incrementarse (Searchinger *et al*, 2008). De igual forma, si en el cultivo de agrocombustibles se utiliza gran cantidad de fertilizantes nitrogenados (asociados a la emisión de N₂O) y es intensivo el uso de combustibles fósiles (debido al bombeo de agua y maquinaria agrícola), entonces las emisiones de GEI pueden no resultar en balance con las emisiones de carbono que se podrían mitigar.

De acuerdo con Tilman *et al* (2009) los biocombustibles pueden ser producidos en cantidades suficientes, sin embargo deben ser derivados de materias primas con menores emisiones durante su ciclo de vida y no deben competir con la producción de alimentos ni con tierras forestales. En estas condiciones se encuentran las siguientes fuentes: a) Plantas perennes que crecen en tierras degradadas abandonadas del cultivo agrícola; b) Parte de los residuos agrícolas que no permanecen en las tierras de cultivo como enriquecedores de suelo; c) Residuos de madera forestales recolectados de forma sustentable; d) Sistemas de cultivo mixtos o dobles (para comestibles y para energía) y e) Residuos urbanos industriales o municipales.

De acuerdo con el último reporte del IPCC (2011) sobre fuentes renovables de energía, el potencial de la biomasa como fuente de energía para disminuir emisiones de GEI varía dependiendo de los modelos, pero puede llegar a representar entre 120 EJ/año y 300 EJ/año de la energía primaria en el año 2050. De acuerdo con la Agencia Internacional de Energía, IEA, por sus siglas en inglés, IEA (2013), para 2050, en un escenario base, el suministro de energía primaria del mundo podría llegar a ser de cerca de 900 EJ/año o podría reducirse a 700 EJ/año bajo un escenario de eficiencia y mitigación de GEI.

3. El biodiesel

En este capítulo se presentan las características, ventajas y desventajas del biodiesel frente al diésel derivado del petróleo. Asimismo se hace una exposición de la transesterificación, que es el proceso más común de producción de biodiesel, y finalmente se revisa el uso de aceite de cocina usado (ACU) para la producción de biodiesel.

3.1 Características

La Sociedad Americana para Pruebas y Materiales (ASTM por sus siglas en Inglés) define al biodiesel como un éster monoalquílico de ácidos grasos de cadena larga derivados de una materia prima de lípidos renovables como los aceites vegetales o las grasas animales.

En general, el biodiesel, comparado con el diésel proveniente del petróleo, es un combustible con más oxígeno de acuerdo a su composición química (Gómez 2010). Esta característica contribuye a que la combustión sea más completa, más eficiente y produzca menos gases contaminantes. Asimismo, el biodiesel tiene un punto de inflamación más alto que el diésel lo que lo hace menos volátil y más seguro de transportar.

De acuerdo con la tesis de Gómez (2010), otras características importantes del Biodiesel son las siguientes: es un combustible renovable, biodegradable, no tóxico, con alto índice de lubricidad y libre de azufre y aromáticos. La Tabla 3.1 muestra un comparativo de otras diferencias de parámetros entre el biodiesel y el diésel.

Tabla 3.1 Comparación entre las propiedades del Biodiesel y Diésel

Propiedades	Biodiesel	Diésel
Metil éster	95.5->98 %	-
Carbono (% peso)	77	86.5
Azufre (% peso)	0.0024	0.05 máx
Agua (ppm)	0.05 % máx	161
Oxígeno (% peso)	11	0
Hidrógeno (% peso)	12	13
Número de cetano	48-55	48-55
Viscosidad cinemática (40° C)	1.9-6.0	1.3-4.1
Punto de inflamación (° C)	100-170	60-80
Punto de ebullición (° C)	182-338	188-343
Gravedad específica (KG/L) (60 ° C)	0.88	0.85
Relación aire/combustible	13.8	15
Poder Calorífico (MJ/Kg)	37.8	43
Poder Calorífico (MJ/L)	33.2	36
Densidad (Kg/m3)	878	837
Densidad (Kg/L)	0.878	0.837

Fuente: (Gómez 2010, Mat *et al.* 2012 y Bari 2014)

3.2 Elaboración de Biodiesel

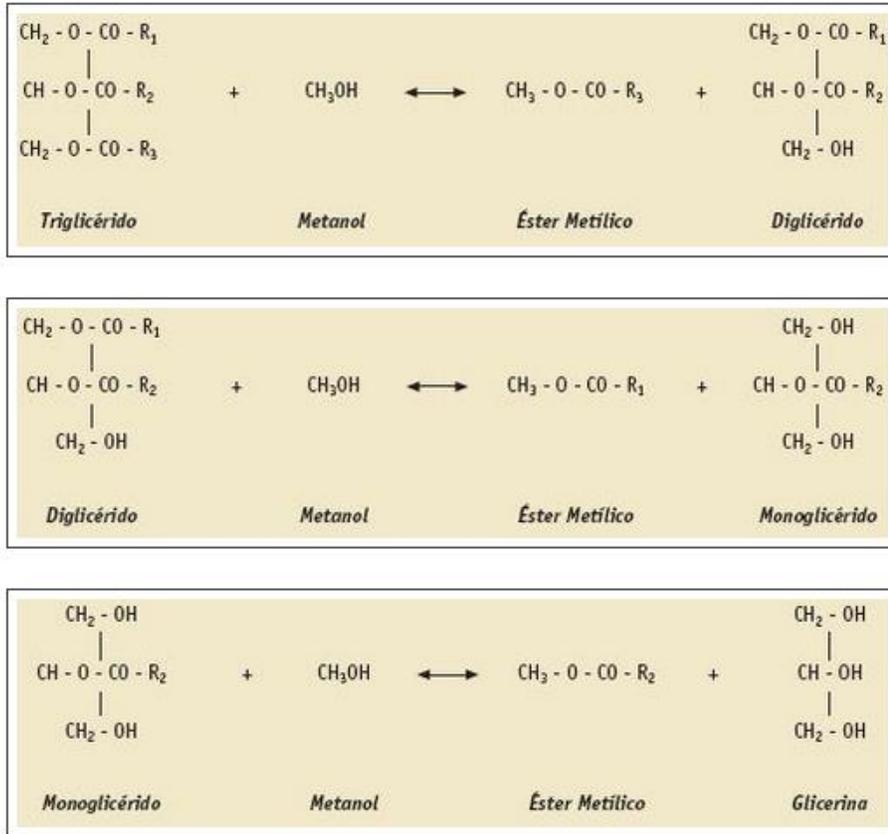
La elaboración del Biodiesel consta de cuatro pasos principales, los cuales se encuentran descritos a continuación (Pérez *et al.*, 2009):

- a) Obtención del aceite
- b) Filtración
- c) Transesterificación: es el método por el cual se eliminan los ácidos grasos del aceite. El aceite es transformado en éster metílico por medio de alcoholes como el metanol o el etanol en presencia de catalizadores como bases o ácidos al reaccionar con glicerol.
- d) Purificación y concentración: en esta etapa se busca que el éster metílico se encuentre lo más puro posible, ya que se genera agua como subproducto.

La transesterificación homogénea es una reacción química en la que un aceite vegetal y un alcohol se mezclan para producir ésteres metílicos de ácidos grasos (FAME o biodiesel) y glicerina. Para acelerar la reacción de transesterificación es común usar una base como

catalizador (hidróxido de sodio o potasio). Los triglicéridos, son los componentes primordiales de los aceites vegetales (materia prima del biodiesel) y están formados por tres cadenas largas de ácidos grasos (R, R' y R'') esterificadas a una molécula de glicerina (parte estructural del triglicérido). Cuando el triglicérido reacciona con el alcohol (metanol), las tres cadenas de ácido graso son liberadas del esqueleto de la glicerina y se combinan con alcohol para producir ésteres alquílicos de ácidos grasos (FAME). La glicerina es el producto secundario de la reacción de transesterificación. El alcohol que se usa con mayor frecuencia es el metanol debido a su bajo costo y buen funcionamiento (Zhang *et al*, 2003). Las reacciones se describen en la Figura 3.1.

Existen diversas tecnologías para aumentar la eficiencia de la transesterificación y disminuir el consumo de agua y su tratamiento, asociado al lavado de equipos para remover las sales producidas por el proceso de neutralización. Entre éstas se encuentran la transesterificación heterogénea, que en general utiliza menos equipos y procesos más simples de separación y neutralización y diferentes sustancias para la neutralización como hidróxido de calcio (Ca(OH)_2), óxido de calcio (CaO), bicarbonato de calcio $\text{Ca(CH}_3\text{O)}_2$, la catalización de azúcar (sulfonated carbon catalyst), catalización con enzimas y metanol super crítico (Demirbas, 2002; Toda *et al.*, 2005, Hang, 2009; Zabeti *et al.*, 2009; Janaun y Ellis, 2010).



Fuente: (Biodisol 2013)

Figura 3.1 Proceso de transformación de aceite vegetal en biodiesel por transesterificación

3.3 Ventajas y Desventajas de Biodiesel frente el Diésel

Las principales ventajas y desventajas del biodiesel frente al diésel se describen a continuación (Rodríguez et. al 2013):

Ventajas

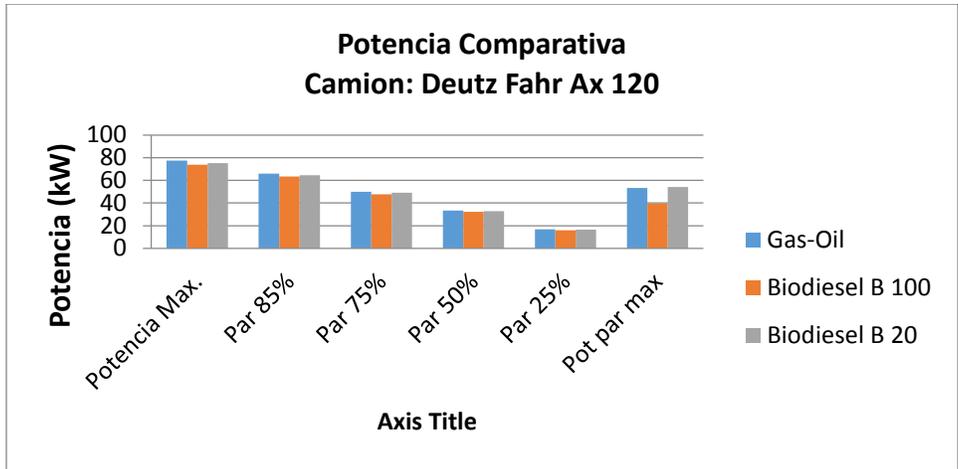
- Por provenir de la biomasa, las emisiones de CO₂ son las mismas que se capturan durante el crecimiento de las plantas que producen el aceite. Sin embargo deben contabilizarse las emisiones de la energía utilizada durante la producción del biodiesel (IPCC, 2006).
- Reducción del contaminante CO y otros contaminantes debido a una mayor eficiencia en la combustión.

- Lubricación: el biodiesel tiene una mejor lubricación que el diésel, lo que provoca que haya menor desgaste en ciertas áreas de las máquinas.

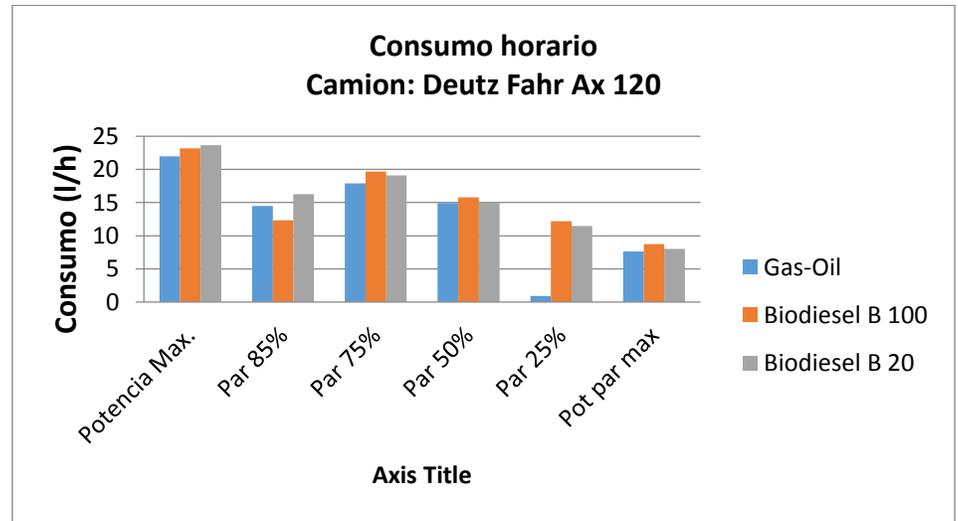
Desventajas

- Propiedades a bajas temperaturas: generalmente el biodiesel, dependiendo del aceite con el que este haya sido elaborado, modifica su lubricidad, su volatilidad y su viscosidad.
- Corrosión: El biodiesel es altamente corrosivo para metales comunes como el cobre (Cu) y el plomo (Pb), esto se debe a que por su origen, contiene agentes contaminantes como el cloro (Cl) y la sal de mesa, así como agentes microbianos.
- Saponificación: la presencia de otros contaminantes como el potasio (K) y el sodio (Na), en el biodiesel puede generar que se presente el proceso de saponificación, generando jabón y obstruyendo los filtros o las vías por las que circula el biodiesel.
- Oxidación: por ser de origen natural, el biodiesel tiende a degradarse en presencia de oxígeno y otros metales.

La Figura 3.2 presenta la potencia comparativa de camiones del modelo Deutz Farhry con un consumo por hora para diferentes pares de fuerza (rotaciones del eje) entre Diésel, Biodiesel Puro y Mezcla Diésel 80% y Biodiesel 20%. Como puede observarse, la potencia que tiene el motor es mayor con el diésel y el consumo de combustible resulta menor. Por lo tanto es una desventaja del biodiesel, cuyo uso producirá un consumo mayor de combustible.



Potencias comparativas						
	Potencia Max.	Par 85%	Par 75%	Par 50%	Par 25%	Potencia par max
Diésel	77.32	65.9	49.9	33.5	16.8	53.3
Biodiesel B 100	73.75	63.3	47.8	32.2	16.1	39.6
Biodiesel B 20	75.27	64.6	49	32.9	16.6	54.2



Consumo horario l/h						
	Potencia Max.	Par 85%	Par 75%	Par 50%	Par 25%	Potencia par max
Diésel	21.97	14.51	17.871	14.94	0.92	7.65
Biodiesel B 100	23.15	12.33	19.65	15.79	12.17	8.72
Biodiesel B 20	23.66	16.26	19.09	14.95	11.48	8.04

Fuente: (Hilber, 2001)

Figura 3.2 Comparación de la potencia y eficiencia del diesel y el biodiesel

3.4 Producción de biodiesel a partir de aceite de cocina usado (ACU)

El aceite de cocina usado (ACU) es el residuo del aceite empleado en la preparación de alimentos y que ya no es recomendado para consumo humano. La descarga de ACU en el drenaje o rellenos sanitarios provoca impactos ambientales y de operación de estos sistemas. En algunos países, el ACU se utiliza como materia prima para alimento de animales, como en México, pero éste ha sido prohibido por ejemplo en Europa debido a los impactos en la salud de los animales (EC, 2002; Thamsiroj *et al.*, 2010; Kalam *et al.*, 2011). Una alternativa para su disposición final es convertir el ACU en biodiesel.

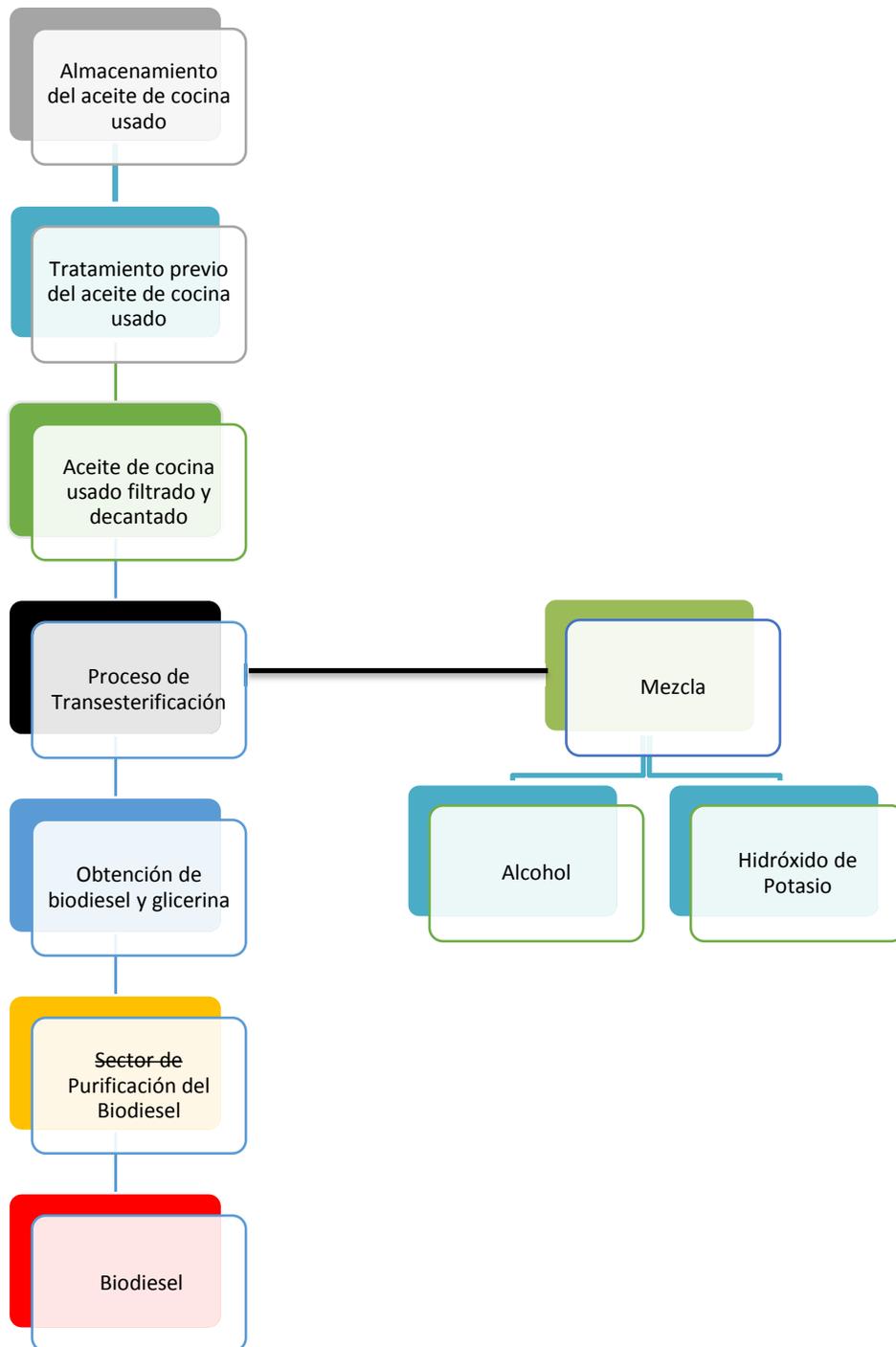
El aceite de cocina usado tiene que ser tratado para poder convertirlo en biodiesel. El tratamiento necesario para esta conversión comienza con la filtración y decantación del aceite, con el objetivo de eliminar cualquier posible resto de comida sólido en el aceite y después se procede a eliminar el pequeño contenido de agua que pudiera tener. El filtrado se realiza con telas de malla fina. Es importante que el aceite no contenga residuos de agua puesto que durante la reacción para convertirlo en biodiesel el aceite puede transformarse en jabón (Pérez *et al.*, 2009 y Romano y Sorichetti, 2003).

Una vez que el aceite de cocina se encuentra lo más puro posible, sin residuos de comida y con la menor cantidad de agua, se procede a realizar la transesterificación. Como se explicó previamente, la transesterificación (Figura 3.1) consiste en realizar una mezcla de aceite de cocina usado con un alcohol (metanol) y un catalizador (hidróxido de potasio). El alcohol provoca una reacción en el aceite y el catalizador es un elemento que se utiliza para acelerar la reacción. La mezcla debe calentarse a una temperatura de alrededor de los 50 a 60° C y se agita a una velocidad constante. Una vez efectuada la reacción se procede a remover la glicerina, la cual es un subproducto del biodiesel.

En algunos casos se realiza un lavado del biodiesel con el objetivo de tenerlo lo más puro posible. Existen diferentes tipos de lavados, los cuales incluyen el seco, el cual se realiza por medio de una serie de diferentes filtros para atrapar glicerina y pequeñas partículas que puedan existir o se hayan formado durante la producción del biodiesel, además existe otro lavado a partir del uso de agua que se realiza con tres tipos diferentes de agua, los

cuales son empleados para remover las pequeñas partículas de jabón que hayan podido formarse durante la reacción y los residuos de metanol que puedan existir para así obtener biodiesel puro. Los lavados se realizan intercalándose con decantaciones para remover el agua. Los tipos de agua empleados pueden ser agua destilada con o sin aditivos, agua desionizada y agua con ácido acético. Al término de los lavados se elimina cualquier posible residuo de humedad que pueda encontrarse en el biodiesel por medio de la agitación y calentado del biodiesel hasta una temperatura de alrededor de unos 100°C.

A continuación se presenta un diagrama con los pasos principales del proceso antes descrito:



Fuente: Elaboración propia a partir de la información de Pérez *et al.* (2009)

Figura 3.3 Esquema de transformación de aceite de cocina usado en biodiesel

4. Lugares del mundo con sistemas de recolección de ACU para biodiesel

Uno de los mayores problemas para el uso del ACU como materia prima es su recolección. Existen diversas regiones en el mundo que han desarrollado estrategias para facilitarla. En este capítulo se presenta una revisión de diversas ciudades del mundo donde existen sistemas de recolección de aceite de cocina usado para su conversión en biodiesel. La mayoría de ellos se orientan a los grandes productores de aceite usado como los restaurantes, sin embargo, también existen sistemas que incorporan a los hogares a través de centros de acopio y recolección (Tabla 4.1). A continuación se hace una descripción de algunos de los sistemas de recolección de aceite de cocina usado para su transformación en biodiesel, de ciudades y regiones de Estados Unidos, Argentina, España, Ecuador y México.

Cabe mencionar que, en el caso de Estados Unidos y España existe una normatividad nacional de impulso al uso de los biocombustibles con estándares que establecen mezclas de biocombustible en el diésel y la gasolina. Además existen exenciones de impuestos para los productores. Aunado a la política nacional, para el caso del aceite de cocina usado, existen regulaciones, incentivos o programas específicos desarrollados por ciudades, condados o municipalidades que apoyan la recolección de aceite para su conversión en biodiesel. En otros casos, son las empresas privadas las que han iniciado el proceso como es el caso de Ecuador y México.

El propósito de este capítulo es conocer cómo funcionan diferentes sistemas de recolección alrededor del mundo y tomarlos como base de partida para implementar un sistema de recolección.

4.1 Estados Unidos

4.1.1 Recolección de aceite en Knoxville y Atenas (Georgia y Tennessee)

Programa de la empresa Clean Energy Biofuels

Descripción: En un centro de acopio se aceptan donaciones voluntarias de cualquier contenedor que contenga aceite de cocina, excepto vidrio. Además ofrece servicios de recolección de aceite a los comercios que utilicen trampas de aceite para las freidoras y se asignan documentos para asegurar que se cumple con las normas locales.

Fuente de información: <http://cleanenergybiofuels.com/services/biz-cooking-oil-collection/>

4.1.2. Alternativa de combustible en Tallahassee, Florida

Programa de la municipalidad de Tallahassee, Florida.

Descripción: La Ciudad de Tallahassee colecta aceite de cocina usado en diversos centros de acopio para ser reusado para su programa de combustibles alternativos. El aceite es limpiado y procesado, mientras que los envases que se utilizan para su recolección son reciclados. Además tiene convenio con diversos restaurantes de la ciudad.

Fuente de información: <https://www.talgov.com/fleet/fleet-biofuel-collection.aspx>

4.1.3. Reciclado de aceite de cocina en Asheville, Carolina del Norte

Programa de la empresa Blue Ridge Biofuels

Descripción: La recolección se realiza en colaboración con el Drenaje Metropolitano de Buncombe County y Green Opportunities. Existen contenedores de reciclado a lo largo de la ciudad para que se pueda depositar el aceite usado. Inició en el año 2010.

Fuente de información: <http://www.cookingoilrecycling.org/>

4.1.4. Reciclado de aceite en la ciudad de Nueva York

Programa municipal y empresas privadas de recolección.

Descripción: Recolecta gratuita de aceite usado de restaurantes. El Departamento de Protección del Medio Ambiente (DEP) de Nueva York estableció una norma para que todos los restaurantes reciclen su aceite viejo de cocina. El reciclado se hace por medio de empresas a las que la Ciudad les otorga licencia de recolección. Existen multas cercanas a

10,000 dólares por no obedecer la ley o por utilizar una compañía sin licencia otorgada por la ciudad de Nueva York .

Fuente de información: <http://americanby-products.com/cooking-oil-collection-nyc-nj/reciclaje-de-aceite-usado/>

4.1.5. Programa de biodiesel en el condado de St. Johns, Florida

Programa del gobierno del condado de St. Johns County

Descripción: Puntos de recolección a lo largo de la ciudad para su conversión en biodiesel por una empresa.

Fuente de información: <http://www.co.st-johns.fl.us/PublicWorks/Biodiesel.aspx>

4.1.6. Programa de reciclamiento de aceite en el condado de Alachua, Florida

Programa del condado de Alachua.

Descripción: Centros de acopio para grandes y pequeños generadores. El condado recolecta aceite para su transformación en biodiesel por medio de empresas privadas.

Contacto:

<http://www.alachuacounty.us/Depts/EPD/hwc/wvo/Pages/WasteVegetableOilRecycling.aspx>

4.1.7 Programa de producción de biodiesel en Syracuse University's Whitman School of Management

Programa universitario.

Descripción: Entrega voluntaria de aceite de cocina usado en la universidad, con el fin de producir biodiesel en el reactor de la universidad que se aprovecha en el uso de transporte de alumnos, granjeros y residentes de la comunidad. Se trata de una campaña sobre la importancia del uso de energías renovables y el reciclaje, por lo que el sistema cuenta con diversos talleres sobre educación.

Fuente de información: <http://www.esf.edu/sustainability/biodiesel.htm>

4.1.8 Recolección de aceite en Pittsboro, Carolina del Norte

Programa desarrollado por la empresa Piedmont Biofuels

Descripción: Utilizan centros de acopio y proveen contenedores gratuitos bajo demanda.

Fuente de información: <http://www.biofuels.coop/fuels/oil-collections>

4.1.9 Recolección de aceite en Greensboro, Carolina del Norte

Programa desarrollado por la empresa *Patriot Biodiesel*

Descripción: Compran el aceite usado bajo demanda. Tienen establecidas diferentes rutas de recolección.

Fuente de información: http://www.patriotbiodiesel.com/category_s/1814.htm

4.1.10 Ciudad de Raleigh, Carolina del Norte

Programa del ayuntamiento de la Ciudad de Raleigh.

Descripción: El programa es anual, por lo que los residentes deben de ir recolectando este aceite a lo largo del año en sus domicilios y entre los meses de noviembre y enero, se llama al servicio para que estos lo recolecten. Se colocan junto a su basura para que este sea recogido.

Fuente de información:

<http://www.raleighnc.gov/home/content/SolidWaste/Articles/CookingOilGrease.html>

4.1.11 Ciudad de Cary, Carolina del Norte

Programa del gobierno de la Ciudad de Cary.

Descripción: Está diseñado para dar a los residentes la oportunidad de disponer adecuadamente del aceite de cocina o grasa mediante la solicitud de una colección especial. El aceite de cocina usado y la grasa se pueden recoger en la acera.

Fuente de información:

http://www.townofcary.org/Departments/Public_Works_and_Uilities/Sewer/Fats__Oils_and_Grease_Control/cookingoil.htm

4.1.12 Recolección de aceite en Oregón, Washington y Idaho

Programa de la empresa Sequential Pacific Biodiesel

Descripción: Rutas flexibles de recolección o servicio de emergencia, además cuenta con recolección individual en diferentes contenedores situados en diferentes puntos de las ciudades.

Fuente de información: <http://www.sqbiofuels.com/collection>

4.1.13 De la freidora a combustible, Santa Cruz, California

Programa de la municipalidad con apoyo de la Agencia de Protección al Ambiente Federal (EPA).

Descripción: Recolección gratuita del aceite para grandes generadores, para su conversión en biodiesel.

Fuente de información: <http://www.epa.gov/region9/waste/biodiesel/docs/fryer-to-fuel-flyer-esp.pdf>

4.1.14. Reciclamiento de aceite, Condado de San Joaquín, California

Programa desarrollado por el condado de San Joaquín.

Descripción: Tanto los residentes como las empresas deben de llevar el aceite a centros de acopio cuando se trata de un volumen menor a 5 galones, mientras que si el volumen es mayor puede ser recolectado directamente por alguna empresa asociada. El aceite se transforma en biodiesel por empresas asociadas.

Fuente de información:

<http://www.sjgov.org/solidwaste/Cooking%20Oil%20Recycling.htm>

4.1.15 Recology Waste Zero / San Francisco / Estados Unidos

Programa de recolección de la empresa Recology

Descripción: Recolección directa de aceite a grandes generadores para su transformación en biodiesel.

Fuente de información:

<http://www.sunsetscavenger.com/hazardousWasteCookingOil.htm>

4.2 Argentina

4.2.1 Municipio de Quilmes, Provincia de Buenos Aires

Programa del gobierno municipal, junto al Organismo Provincial para el Desarrollo Sostenible de la Provincia de Buenos Aires (OPDS). La producción de biodiesel se logra a partir de una asociación con empresas privadas.

Descripción: Sistema de recolección para industrias generadoras de aceite de cocina y en centros de acopio para generadores residenciales.

Fuente de información: http://www.quilmes.gov.ar/medioambiente/programa_bio.php

4.2.2 Basura cero Bahía, Bahía Blanca, Provincia de Buenos Aires.

Programa del gobierno de Bahía Blanca

Descripción: Campaña de recolección para educar a la gente sobre la gestión del aceite residual proveniente de los hogares, esta campaña se realiza en una determinada fecha y lugar.

Fuente de información: <http://basuracerobahia.org/post/29532556599>

4.2.3 Diversos municipios de la provincia de Argentina

Programa de empresa privada RBA

Descripción: Rutas de recolección de aceite para su conversión en biodiesel, basadas en estrategias de logística para grandes generadores.

Fuente de información: <http://www.rba-ambiental.com.ar/esp/index.html>

4.3. España

4.3.1 Recolección de aceite vegetal usado de uso doméstico en Alcalá de Henares

Programa de la Ciudad de Alcalá

Descripción: La recolección del aceite doméstico se realiza a través de contenedores fijos, distribuidos en todos los barrios, atendiendo a criterios de mayor concentración ciudadana. Además de colocar contenedores en escuelas con el propósito de educar y fomentar en los niños sobre la importancia del medio ambiente.

Fuente de información:

http://www.aytoalcaladehenares.es/portalAlcala/contenedor1.jsp?seccion=s_fdes_d4_v1.jsp&tipo=6&&contenido=9943&nivel=1400&layout=contenedor1.jsp&codResi=1&language=es&codMenu=150&codMenuPN=3&codMenuSN=30

4.4 Ecuador

4.4.1. Quito

Programa de la empresa Intelifuels

Descripción: Recolección a partir de contenedores localizados estratégicamente en la ciudad o a partir de recolección bajo pedido a grandes generadores.

Fuente de información: <http://www.intelifuel.com/servicesec.php>

4.5 México

4.5.1 Recolección de Aceite en diversas Ciudades

Programas de las empresas que promueven la recolección de aceite de cocina usado para su transformación en biodiesel. En todos los casos es bajo recolección pactada con grandes generadores.

Fuente de información:

Biofuels de México (<http://www.recoleccionaceite.com/>); Reoil México

(<http://www.reoil.net/rauc.html>); Enerviva (<http://enerviva.mx/recoleccion-de-aceite/>);

Biodiesel Morec (<http://www.moreco.com.mx/servicios>).

En la tabla 4.1 se presenta la información descrita anteriormente simplificando si el programa es de carácter público, privado, obligatorio o voluntario.

Tabla 4.1 Sistemas de recolección de aceite de cocina usado para producir Biodiesel en diversas regiones del mundo

Desarrollador	Ciudad/Estado/País	Características	Público /Privado	Voluntario /Obligatorio	Referencia
Clean Energy Biofuels	Georgia y Tennessee/USA	Donación, recolección a comercios y certificación	Privado	V	http://cleanenergybiofuels.com/services/biz-cooking-oil-collection/
Proyecto alternativa de combustible	Tallahassee/USA	Contenedores en sitios determinados, Recolección a comercios	Público	V	https://www.talgov.com/fleet/fleet-biofuel-collection.aspx
Blue Ridge Biofuels	Asheville y Oeste de Carolina del norte /USA	Contenedores en sitios determinados	Privado	V	http://www.cookingoilrecycling.org/
American By-products Recyclers	New York/USA	Recolecta a restaurantes	Privado	V	http://americanby-products.com/cooking-oil-collection-nyc-nj/reciclaje-de-aceite-usado/
Biodiesel Fuel Department	Florida /USA	Puntos de Recolección a lo largo de la ciudad	Público	V	http://www.co.st-johns.fl.us/PublicWorks/Biodiesel.aspx
Syracuse University's Whitman School of Management	New York/USA	Recolección en la Universidad	Público	V	http://www.esf.edu/sustainability/biodiesel.htm
Piedmont Biofuels	Pittsboro North Carolina /USA	Recolección a Restaurantes, Certificación	Privado	V	http://www.biofuels.coop/fuels/oil-collections
Patriot Biodiesel	Greensboro NC/USA	Contenedores en sitios determinados, recolección en restaurantes	Privado	V	http://www.patriotbiodiesel.com/categories/1814.htm
SeSequential Pacific Biodiesel	Oregón, Washington, Idaho/USA	Contenedores en sitios determinados, rutas de recolección.	Privado	V	http://www.sqbiofuels.com/collection
EPA	Santa Cruz California/USA	Ruta de recolección a los hogares en determinada fecha y	Público	V	http://www.epa.gov/region9/waste/biodiesel/docs/fryer-to-fuel-flyer-esp.pdf

Desarrollador	Ciudad/Estado/País	Características	Público /Privado	Voluntario /Obligatorio	Referencia
		hora a restaurantes			
Reoil México	D.F. Miguel Hidalgo/ México	Proyecto piloto recolección restaurantes	Privado	V	http://www.reoil.net/rACU.html
Enerviva	San Luis Potosí/México	Recolección aceite de cocina a partir de 2º litros	Privado	V	http://enerviva.mx/recoleccion-de-aceite/
Programa Bio	Quilmes /Argentina	Recolección para industrias generadoras de aceite de cocina	Privado	V	http://www.quilmes.gov.ar/medioambiente/programa_bio.php
Basura cero Bahía	Bahía Blanca	Recolección del aceite en determinada fecha y lugar	Público	V	http://basuracerobahia.org/post/29532556599
RBA	Argentina	Rutas de recolección a industrias	Privado	V	http://www.rba-ambiental.com.ar/esp/index.html
Recogida de aceite vegetal usado de uso doméstico	Alcala de Henares	Contenedores en sitios determinados, recolección en escuelas	Público	V	http://www.ayto-alcaladehenares.es/portalAlcala/contenedor1.jsp?seccion=s_fdes_d4_v1.jsp&tipo=6&&contenido=9943&nivel=1400&layout=contenedor1.jsp&codResi=1&language=es&codMenu=150&codMenuPN=3&codMenuSN=30
Plan Bio	Municipio de Vicente López	Recolección realizada por bomberos	Público	V	http://bomberosdevicentelopez04.blogspot.mx/2009/12/campana-de-recoleccion-de-aceite.html
Intelifuels	Quito /Ecuador	Contenedores en sitios determinados, recolección a industrias	Privado	V	http://www.intelifuel.com/servicesec.php
Programa Biodiesel la energía de la gente (Empresa Biofuels de	Veracruz /México	Contenedores en sitios determinados	Privado	V	http://www.veracruz.gob.mx/medioambiente/992-2/

Desarrollador	Ciudad/Estado/País	Características	Público /Privado	Voluntario /Obligatorio	Referencia
México)					
Biodiesel Morec	Michoacán, Querétaro, Guanajuato, Guadalajara /México	Rutas de Recolección	Privado	V	http://www.moreco.com.mx/servicios
Ba (buenos Aires Provincia)	Buenos Aires /Argentina	Centros de Acopio	Público	V	http://www.opds.qba.gov.ar/index.php/paginas/ver/biodiesel_principal
County of San Joaquín	San Joaquin California /USA	Centros de Acopio	Público	O	http://www.sjgov.org/solidwaste/CookingOilRecycling.htm
City of Raleigh	North Carolina /USA	Recolección anual para los residentes	Público	O	http://www.raleighnc.gov/home/content/SolidWaste/Articles/CookingOilGrease.htm
Town of Cary	North Carolina / USA	Recolección de aceite a residentes	Público	V	http://www.townofcary.org/Department s/Public Works and Utilities/Sewer/Fats Oils and Grease Control/cookingoil.htm
Recology Waste Zero	San Francisco/USA	Recolección a residentes e industrias	Privado	V	http://www.sunsetscavenger.com/hazardousWasteCookingOil.htm
Alachua County	Florida /USA	Contenedores determinados en sitios	Público	V	http://www.alachuacounty.us/Depts/EPD/hwc/wvo/Pages/WasteVegetableOilRecycling.aspx

5. Estimación del potencial disponible de ACU para su conversión en biodiesel en la Ciudad de México

En este capítulo se exponen dos metodologías y sus resultados para estimar el potencial de disponibilidad de ACU en la Ciudad de México. En ambos casos se parte de conocer el consumo de aceite vegetal en la Ciudad de México y posteriormente, se estima la disponibilidad de ACU utilizando una tasa de recuperación (es decir, el porcentaje de aceite que ya no se utiliza, respecto al total de aceite vendido).

La primera metodología para conocer las ventas de aceite en la ciudad se basa en las ventas de aceite en el país. La segunda se fundamenta en los resultados de una encuesta que se llevó a cabo en diversos restaurantes de la Ciudad de México.

5.1 Estimación del consumo de aceite en la Ciudad de México a partir de las ventas nacionales

5.1.1 Metodología

La disponibilidad del ACU para el país fue estimada en Sheinbaum *et al.*, (2013), a partir de las ventas de aceite vegetal y grasa animal disponibles en el Banco de Información Económica del INEGI, un factor aplicable para las ventas en las zonas urbanas del país y una tasa de recuperación del aceite usado, respecto a las ventas.

El consumo de aceite para la Ciudad de México se puede aproximar a partir del consumo per cápita de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$AV_{DF} = \frac{AV_{Mex}}{Pob_{Mex}} \times Pob_{DF} \quad (5.1)$$

Dónde:

AV_{Mex} es la disponibilidad de aceite vegetal en el país

AV_{DF} es la disponibilidad de aceite vegetal en el Distrito Federal (DF)

Pob_{Mex} es la población del país.

Pob_{DF} es la población del Distrito Federal (DF)

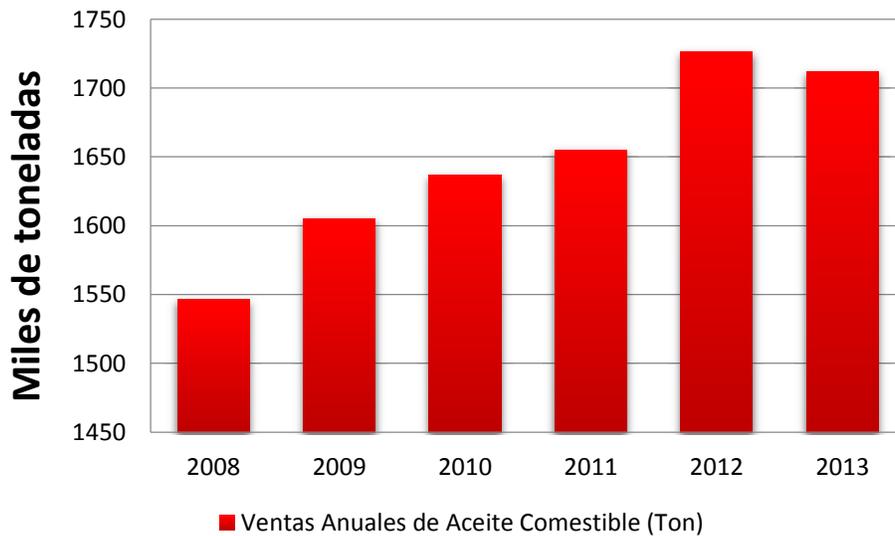
5.1.2. Resultados

Las ventas nacionales de aceite vegetal y grasa animal de 2008 a 2013 se muestran en la Tabla 5.1. y en la Figura 5.1. La Población Nacional y del Distrito Federal de acuerdo con la CONAPO (2014) se muestra en la Tabla 5.2.

Tabla 5.1. Ventas de aceite vegetal y grasa animal en México

Periodo\Aceite	Girasol (Ton)	Maíz (Ton)	Soya (Ton)	Nabo (Ton)	Mezclas (Ton)	Manteca (Ton)	Soya (Ton)	Total (MKg)	Total (MI)
2008	174,678	53,146	130,766	165,938	388,801	454,739	178,363	1,546.4	1,680.9
2009	159,512	56,812	126,857	195,636	407,106	466,282	192,575	1,609.8	1,744.3
2010	162,256	56,562	171,325	148,445	450,868	444,321	202,820	1,636.6	1,778.9
2011	177,201	55,662	233,153	161,454	490,871	428,745	108,085	1,655.2	1,799.0
2012	182,257	59,312	230,462	173,792	527,991	453,654	98,600	1,726.1	1,876.1
2013	152,691	55,259	240,526	189,832	516,265	472,912	84,556	1,712.0	1,860.9

Fuente: BIE-INEGI (2014). La densidad del aceite es en promedio 0.92 kg/L (Sheinbaum et. Al 2013)



Fuente: INEGI (2014).

Figura 5.1 Ventas de aceite en México

Tabla 5.2 Población nacional y del Distrito Federal (millones de habitantes a mitad del año)

Indicador	2010	2011	2012	2013	2014
Nacional	114.255	115.683	117.054	118.395	119.713
Distrito Federal	8.945	8.928	8.912	8.894	8.875

Fuente: CONAPO (2014)

De esta forma y de acuerdo con los datos de las Tablas 5.1 y 5.2 y la ecuación 5.1, el consumo de aceite vegetal del Distrito Federal se presenta en la Tabla 5.3.

Tabla 5.3 Estimación del consumo de aceite en el Distrito Federal a partir de ventas nacionales (millones de litros)

	2010	2011	2012	2013
AV_{DF}	139.26	138.85	142.83	139.79

5.2 Estimación del consumo de aceite en la Ciudad de México a partir de encuestas a restaurantes

5.2.1 Metodología

Para conocer el consumo de aceite vegetal en los restaurantes de la Ciudad de México se llevó a cabo una encuesta en restaurantes de diferentes cadenas. A continuación se describe la metodología de la encuesta:

Objetivo de la encuesta:

- Conocer la cantidad de aceite vegetal que se consume dentro del restaurante
- Conocer el número de comensales que asisten al restaurante
- Tasa de recuperación de ACU

Diseño de la Muestra:

Para obtener el diseño de la muestra se debe de conocer la población total por lo que se ubicaron las principales cadenas de restaurantes a lo largo del DF, lo que dio como resultado alrededor de 400 restaurantes de 12 diferentes cadenas¹. El resultado se obtuvo a partir de una investigación en las páginas web de las diferentes cadenas de restaurantes para conocer su ubicación y la cantidad de establecimientos que existen en el DF. Sin embargo, el Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUE) del INEGI (2014) registra un total de 627 restaurantes expresados en la Tabla 5.4

	(09) DISTRITO FEDERAL
(7221) Restaurantes con servicio completo	565
(7222) Restaurantes de cadenas de autoservicio, comida para llevar y otros restaurantes con servicio limitado	62
TOTAL	627

Tabla 5.4 Restaurantes con servicio completo y de autoservicio con servicios limitados en el Distrito Federal

Fuente: DENUE, 2014

Para obtener el tamaño de muestra se utilizó la siguiente ecuación (reportada en Badii *et al*, 2008) la cual es utilizada para calcular un tamaño de muestra sin reemplazo:

$$n = \frac{N\sigma^2 Z^2}{(N-1)(e^2) + (\sigma^2 Z^2)} \quad (5.2)$$

Dónde:

n= Tamaño de la muestra (número de restaurantes a encuestar)

N= Tamaño de la población (número de restaurantes)

σ = Desviación estándar de la población

Z = Valor obtenido mediante niveles de confianza

¹ Obviamente existen mucho más restaurantes, pero estos son los que corresponden a cadenas. La selección de este tipo de restaurantes se debe a la facilidad de establecer acuerdos de recolección del aceite usado

e = Límite aceptable de error en la muestra

El tamaño de la población “N” se obtuvo a partir de los datos reportados por el DENU, que indica que existen 627 restaurantes de servicio completo y autoservicio, que describen a las diferentes cadenas de autoservicio encuestadas.

A partir del trabajo de Guerrero (2009) se optó por utilizar una desviación estándar de $\sigma=0.5$ dada la correlación entre el PIB nacional y el Consumo de servicios, subsector en el que están contenidos los restaurantes (Tabla 5.5).

Tabla 5.5 Desviación estándar con su correlación al PIB

Variable	Desviación Estándar			Correlación con el PIB		
	Completa	1º Mitad	2º Mitad	Completa	1º Mitad	2º Mitad
PIB Real	1.16	1.40	0.87			
Servicios	0.47	0.50	0.44	0.554	0.603	0.485

Fuente: (Guerrero, 2009)

Para obtener “Z” se decidió un nivel de confianza del 95%, que es el que se utiliza en la mayoría de las investigaciones, con su valor por medio de tablas de distribución normal muestral de 1.96.

El límite aceptable de error “e” se busca que sea menor al 10% para que dicha muestra y estudio tenga validez, por lo que se optó por un error del 9% para dejar un rango de error aceptable y disminuir recursos.

Sustituyendo los valores se obtiene:

$$n = \frac{(627 * 0.5^2 * 1.96^2)}{(627 - 1) * (0.09^2) + (0.5^2 * 1.96^2)} = 99.84$$

Como resultado se obtuvo que el tamaño de muestra debe ser de 100 encuestas.

Diseño del instrumento:

El formato y preguntas específicas de la encuesta se presentan en el Anexo I.

Aplicación de la encuesta:

La aplicación de la encuesta se llevó a cabo por diferentes colaboradores de servicio social del Instituto de Ingeniería de la UNAM, que se distribuyeron la realización de la encuesta a alrededor de 100 restaurantes.

Procesamiento de la información:

Se visitaron 100 establecimientos de las cadenas reportadas en la Tabla 5.6, en ocho delegaciones, sin embargo solamente se obtuvo respuesta en 43. El procesamiento de la información se llevó a cabo para 43 encuestas que fue el número de restaurantes que aceptaron contribuir con el estudio, sin embargo en 5 de ellas las respuestas estuvieron fuera de rango por lo que solo se tomaron en cuenta 38 encuestas.

Tabla 5.6 Cadenas de restaurantes encuestadas

Cadena	Establecimientos
Burger King	15
KFC	2
McDonalds	11
Sanborns	7
Otros	8
Total	43

5.2.2 Resultados

Resultados de la encuesta

El resultado de las encuestas tiene un amplio rango de variación. El número promedio de comensales resultó en 276 diarios. El consumo anual de aceite por comensal fue de 9.95 l/año con una desviación estándar de 3.24 l/año y una varianza de 2.07 (Figuras 5.2 y 5.3). Esto representa la mitad del consumo de aceite por persona respecto al promedio nacional, obtenido de las ventas (sección anterior), cifra que resulta factible, considerando que es sólo una comida al día y asumiendo que sólo considera alimentos en restaurantes. No se pudo procesar la información recabada de la tasa de recuperación pues los valores

fueron demasiado dispersos y algunos de ellos completamente fuera de rango, como se muestra en las figuras 5.2 y 5.3.

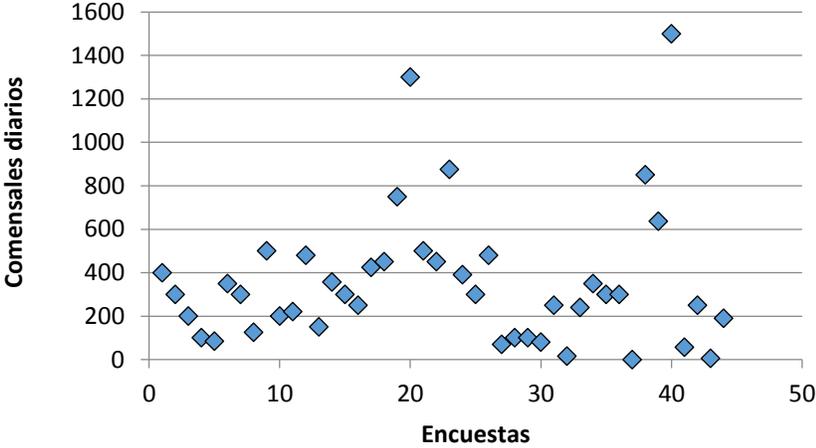


Figura 5.2 Comensales diarios por restaurante

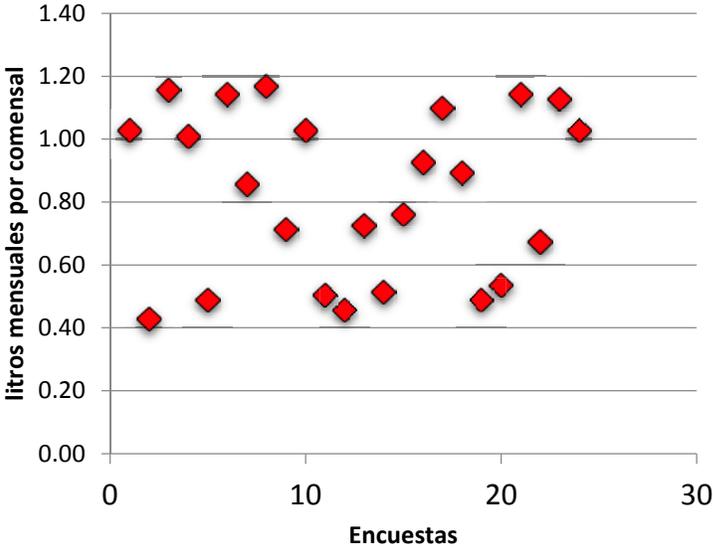


Figura 5.3 Consumo de aceite mensual por comensal en cadenas de restaurantes

Expansión de los resultados de la encuesta

De acuerdo con los datos del INEGI y la DENU (Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas) que brinda información del número de restaurantes en el DF (Tabla

5.4) y los resultados de la encuesta, el consumo de aceite vegetal para todos los restaurantes de las cadenas encuestadas se calcula con la siguiente fórmula:

$$AV_{DFc} = AV_{\frac{Com}{año}} * Com_{\frac{Prom}{año}} * C_R \quad (5.3)$$

Dónde:

$AV_{com/año}$ = consumo de aceite vegetal por comensal al año

$Com_{prom/año}$ = promedio de comensales por restaurante al año

C_R = Número total de restaurantes de las cadenas muestreadas

Los resultados se muestran a continuación en la Tabla 5.7.

Tabla 5.7 Consumo de aceite en cadenas de restaurantes en el Distrito Federal

Total de restaurantes en DF	Promedio de comensales al año	Resultado muestra (l/año por comensal)	Estimación consumo (millones de litros)	Porcentaje del consumo total del DF (Tabla 4.3)
627	276	9.95 ± 3.24	1.72 ± 0.56	1.2 ± 0.4 %

5.3 Estimación de la producción de biodiesel a partir aceite de cocina usado

El potencial técnico de producción de biodiesel de ACU en el Distrito Federal puede estimarse conociendo la tasa de desecho del aceite vegetal, como se presenta en la ecuación 5.4

$$ACU = AV * \text{tasa de recuperación} \quad (5.4)$$

Donde AV es el consumo de aceite, mientras que la tasa de recuperación puede estimarse como se describe a continuación:

5.3.1. Tasa de recuperación

El valor de la tasa de recuperación de acuerdo con diferentes fuentes de información oscila entre 20% y 30%. De acuerdo con información directa de la encuesta realizada a la

cadena de restaurantes Sanborns la tasa es del 20% (Sanborns, 2013). De acuerdo con referencias publicadas por otros estudios la tasa varía alrededor del 30% (Sheinbaum *et al.*, 2013).

Para evaluar la producción de biodiesel se utilizará el 20% de recuperación con el fin de tener como base la mínima cantidad de biodiesel esperada, ya que si su tasa de recuperación aumenta se obtendrán mayores beneficios.

Basados en los resultados de la sección anterior, la disponibilidad de ACU se muestra en la Tabla 5.8 (millones de litros).

Tabla 5.8 Estimación de la disponibilidad de ACU en el D.F. al año

	Total de aceite vegetal (millones de litros)	Tasa	Disponibilidad de ACU (millones de litros)
Consumo de aceite en el D.F. (ver Tabla 4.3)	139.79	20%	27.96
Cadenas de restaurantes de comida rápida (ver Tabla 4.6)	1.72 ± 0.56	20%	0.34 ± 0.11

De acuerdo con los resultados del trabajo de Irazoque (2012), la eficiencia de producción de biodiesel es del 95%. De esta forma, la disponibilidad máxima de biodiesel de ACU en la Ciudad de México se presenta en la Tabla 5.9 (en millones de litros y Tera Joules), asociado al aceite proveniente de las cadenas de restaurantes.

Tabla 5.9 Estimación del potencial de producción de biodiesel en el D.F. al año

	Disponibilidad de ACU (MI)	Disponibilidad de biodiesel de ACU (MI)	Disponibilidad de biodiesel de ACU (TJ)
Total de ventas en el DF	27.96	26.56	881.15
Cadenas de restaurantes de comida rápida	0.34 ± 0.11	0.32 ± 0.1	10.62 ± 3.31

Nota: Poder calorífico del biodiesel: 33.1884 MJ/l (Bari 2014)

6. Estimación de uso del biodiesel de ACU en autobuses y la reducción de emisiones contaminantes (Gases de Efecto Invernadero GEI)

El presente capítulo tiene por objeto exponer los resultados del potencial del uso de biodiesel a partir de ACU en autobuses de RTP en el Distrito Federal y la reducción de las emisiones contaminantes.

6.1 Mezcla diésel-biodiesel

Las propiedades del biodiesel son diferentes a las del diésel, generalmente cuando se usa biodiesel puro al 100% (B100) es necesario hacer modificaciones en los motores de los automóviles. Para evitar esto, es muy común usar mezclas de diésel y biodiesel a distintos niveles, que van desde el 2% (B2) hasta el 20% (B20) de biodiesel. Esto origina que existan estándares y normas para el uso de biodiesel B100 y de biodiesel en mezclas con diésel (Irazoque, 2012).

Para la presente tesis se usa una mezcla de 10% de biodiesel y 90% diésel. Este valor corresponde a la mezcla óptima, según las pruebas de mediciones de contaminantes atmosféricos, que se explica con más detalle en la siguiente sección.

6.2 Potencial de uso de biodiesel de ACU en autobuses en la Ciudad de México

El consumo de combustible en un autobús puede estimarse de la siguiente forma:

$$E_{C_{bus}} = E_{f_c} * R_a * P_{C_{diesel}} \quad (6.1)$$

Dónde:

$E_{C_{bus}}$ es el combustible requerido por el autobús para operar a lo largo de un año (MJ/año)

E_{f_c} es la eficiencia en el uso de combustible (l/km)

R_a es el total de kilómetros recorridos al año (Km/año)

$P_{C_{diesel}}$ es el poder calorífico del combustible (MJ/lt)

El inventario de emisiones de gases contaminantes para la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (INECC, 2012), proporciona la longitud del recorrido promedio de los autobuses de la Red de Transporte de Pasajeros (RTP), en los que se concentra el presente análisis, ésta es de 200 kilómetros diarios. El rendimiento de combustible fue obtenido de Sheinbaum *et al.* (2013) a partir de pruebas desarrolladas en autobuses de la RTP (Tabla 6.1).

Tabla 6.1 Rendimiento y recorrido de autobuses de RTP

Tecnología del Autobús	Km Recorridos/año	Combustible (kg/km)	Combustible (lts/km)
EPA-04	73,000	0.441	0.527
EPA-98	73,000	0.461	0.550

Fuente: Sheinbaum *et al.*, (2013b).

Sustituyendo los valores de la Tabla 6.1 en la ecuación 6.1

$$Ec_{bus} = 0.538 * 73,000 * 35.991 = 1.413 \text{ (GJ bus/año)}$$

Para una mezcla diésel-biodiésel, el consumo de combustible en lt/año de un autobús puede expresarse como:

$$Ec_{bus} = Ef_c * R_a * (\%Diésel + \%Biodiésel) \quad (6.2)$$

Sustituyendo los valores en la ecuación 6.2

$$Ec_{bus} = 0.538 * 73,000 * 100 \% = 39.27 \text{ (mil litros/año)}$$

Asumiendo que la eficiencia es la misma para el biodiésel y el diésel

Y el uso de biodiésel por autobús en la mezcla se infiere de la ecuación anterior:

$$Biodiésel_c = Ec_{bus} * \%Biodiésel \quad (6.3)$$

Dónde:

Biodiésel_c es el consumo de biodiésel por autobús

Sustituyendo valores en la ecuación 6.3 para dos porcentajes de mezcla (10% y 20%), los resultados se muestran en la Tabla 6.2

Tabla 6.2 Uso de Biodiesel por autobús

	Mezcla B10 (mil lts)	Mezcla B20 (mil lts)
Eautobus_{Biodiesel}	3.92	7.85

Para obtener el número de camiones que podrían operar con una mezcla de biodiesel-diésel se utiliza la disponibilidad total de energía del Biodiesel al año y el consumo de energía por camión de biodiesel al año.

$$No. de Camiones = \frac{DTB}{E_{autobus_{biodiesel}}} \quad (6.4)$$

Tabla 6.3 Total de autobuses que podrían operar con el biodiesel producido

Total de autobuses	10%	20%
Biodiesel a partir del ACU del DF	6756	3753
Biodiesel a partir del ACU de Cadenas de Restaurantes	83	46

6.3 Contaminantes locales

Los principales contaminantes locales asociados a la combustión de los motores a diésel son los Óxidos de nitrógeno (NOx), el monóxido de carbono (CO) y las partículas (PM), los cuales son formados durante la combustión. En el caso del CO₂, este gas representa una combustión completa, en el caso del CO se produce por causa de una combustión incompleta, las partículas y en el caso de los NOx se producen en los escapes de los motores por las altas temperaturas.

En un estudio reciente (Sheinbaum *et al.*, 2013) se midieron las emisiones contaminantes en algunos autobuses de la RTP. Los resultados de dicho estudio muestran que las

emisiones disminuyen para mezclas B20 y B10 solamente para autobuses de tecnología EPA-04 y posterior. Para autobuses con tecnología previa (EPA-98) las emisiones aumentan debido principalmente a que estos no cuentan tecnología EGR (Exhaust Gas Recirculation). Dicha tecnología, utilizada principalmente en EE.UU. y por algunos fabricantes europeos, fue diseñada para los motores a diésel, para cumplir con los estándares de reducción de emisiones de óxidos de nitrógeno. En un motor EGR, parte del gas de escape es enfriado y reciclado de regreso al motor, para diluir la mezcla aire/combustible, y por ende la cantidad de oxígeno que entra a la cámara de combustión. Esto, tiene un efecto de reducción de temperatura en dicha cámara, lo que reduce la formación de NOx. Como beneficio adicional, también se reducen los requerimientos de octanaje del motor, lo que reduce el peligro de “cascabeleo”. La Tabla 6.4 muestra los factores de emisión empleados en dicho estudio.

Por otro lado, el total de emisiones que producen los camiones por el consumo de combustible se puede estimar de la siguiente manera:

$$Emisiones = No.Vehículos * Km recorrido * Factor de emision$$

$$Em = No.V * \left(\frac{Km}{año}\right) * \left(\frac{g}{km}\right) = \frac{g}{año} \quad (6.5)$$

Aplicando la ecuación para los siguientes contaminantes con base en el consumo de diésel y las diferentes mezclas, podemos obtener el porcentaje de reducción de los contaminantes locales y gases de efecto invernadero.

Las Tablas 6.5 y 6.6 muestran las emisiones evitadas y el porcentaje de reducción al utilizar la mezcla diésel-biodiésel.

Tabla 6.4 Factores de Emisión autobuses RTP con tecnología EPA-04

(g/km)	PM	NOx	CO
Base	0.48	15.7	6.8
B10	0.16	15.0	4.6
B20	0.31	14.4	6.5

Fuente (Sheinbaum et. al 2013)

Tabla 6.5 Emisiones totales al año al utilizar mezcla diésel-biodiesel en un autobús tecnología EPA-04

Emisiones (Ton/año)			
	PM	NOx	CO
Base	2.91	95.13	41.20
B10	0.97	90.89	27.87
B20	1.04	48.36	21.83

Nota: recorrido de 200km diarios

Tabla 6.6 Porcentaje de Reducción de emisiones al utilizar mezcla diésel-biodiesel

Porcentaje de Reducción			
	PM	NOx	CO
B10	67%	4%	32%
B20	64%	49%	47%

Al evaluar el porcentaje de reducción que se obtiene al utilizar las diferentes mezclas biodiesel-diésel se nota que existe una disminución en la generación de los contaminantes locales al utilizar ambas mezclas. También se observa que al utilizar una mezcla B20, es mayor el porcentaje de disminución de CO y NOx en comparación con la mezcla B10. Sin embargo, si el objetivo es disminuir PM entonces es preferible utilizar la mezcla B10.

6.4 Disminución de GEI

La metodología que se utiliza para calcular la disminución de emisiones de CO₂ se basa en la establecida por el Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) que consiste en calcular las emisiones no sólo en la operación del vehículo, sino también durante la producción de biodiesel. En el artículo Potencial de Biodiesel a partir de aceite de cocina usado en México (Sheinbaum *et al.*, 2013) calculan el factor de emisión considerando el estudio de caso de una planta de producción de biodiesel en la Ciudad de México. Los resultados de este estudio se presentan en la Tabla 6.7.

Tabla 6.7 Consumo de energía durante la producción de biodiesel y sus emisiones de CO₂

Consumo final de energía para producir 1 L de biodiesel en una planta de BD, y emisiones de CO ₂ .					
Energía		Uso	Energía Final	Emisiones de CO ₂	CO ₂
			(kJ/L)	(g/L)	(kg/año)
ACU	Material Puro(L/año)	303,158			
Diésel	Transporte	3 camiones ligeros 100 km por día	17,865	132.4	38,125.40
Electricidad	Bombeo	8 bombas de un total de 4.288 kW	22.9	3.5	1007.7
Electricidad	Iluminación	67 CFL	0.2	0.03	8.9
LPG	Calor ACU	2 pequeños quemadores	0.5	0.03	9.2
Metanol CO₂ (combustión con biocombustible)				181.5	52,258.80
Total			1810.1	317.4	91,410.10
Metanol CO₂ (producción)				257.3	74,111.00
Total			1810.1	574.7	165,521.10
Producción anual de biodiesel en una planta de BD: 288,000 L; consumo de metanol 48,000 L/año; petro-diésel CO₂ emisiones durante la combustión: 2647.6 gCO₂/L					

Fuente: (Sheinbaum *et al.*, 2013)

Las emisiones de CO₂ se calculan con base en la siguiente ecuación

$$Em_{CO_2} = No.V * Ra * Efc * (\%Biodiesel * Fe_{CO_2} + \%Diésel * Fe_D) \quad (6.6)$$

Dónde:

Em CO₂ son las emisiones de CO₂ generadas (g/año)

Ra es el total de kilómetros recorridos al año (Km/año)

Ef_c es la eficiencia en el uso de combustible (Lts/km)

Fe_{CO_2} es el factor de emisión del Biodiesel para CO_2 (g/L)

Fe_D es el factor de emisión del Diésel para CO_2 (g/L)

Sustituyendo los valores en la ecuación 6.6 se obtienen los siguientes resultados mostrados en las tablas 6.8 y 6.9.

Tabla 6.8 Emisiones de CO_2 al año al utilizar biodiesel

Emisiones de CO_2 (Ton/año)	
Base	8630.49
B10	7954.78
B20	7279.07

Tabla 6.9 Reducción de emisiones de CO_2 al utilizar biodiesel

Porcentaje de reducción de CO_2	
Base	100%
B10	8%
B20	16%

Se puede observar a partir de las tablas anteriores que el porcentaje de reducción de CO_2 no es muy grande, sin embargo puede ser significativo para reducir la contaminación de la atmosfera si se utilizará biodiesel en todos los camiones de transporte público de México.

6.5 Agua

De acuerdo al trabajo de Williams *et al.*, (2012), el depósito de grasas y aceites en el alcantarillado puede generar inundaciones resultando en daños ambientales y riesgos a la salud. Debido a que las grasas y aceites se saponifican, generan que el diámetro de las tuberías se reduzca o inclusive se obstruya por completo ocasionando inundaciones. Además las grasas también atraen otros efectos indeseables como la proliferación de ratas. Los depósitos de grasa pueden ocasionar un mal funcionamiento en las estaciones de bombeo y plantas de tratamiento de aguas.

En el Reino Unido se gastan aproximadamente de 15 a 50 mil libras por año controlando las grasas y aceites presentes en las aguas residuales (Williams *et al.*, 2012)

Debido a los problemas que las grasas y aceites generan en las ciudades, es indispensable reducir en lo mayor posible la cantidad de estas en las aguas residuales, por lo que un sistema de recolección de aceites ayuda en gran medida a la disminución de estos debido a que existe un manejo integral del residuo al ser reutilizado para la elaboración de biodiesel.

El sistema de recolección de aceite ayuda en muchos aspectos a eliminar las grasas y aceites en las alcantarillas, sin embargo, debido al desecho que existe por parte de los hogares de ACU al alcantarillado, los problemas persisten. Es importante enfatizar en la necesidad de diseñar un programa de recolección para los hogares, de tal manera que se reduzca al máximo la cantidad de desecho de ACU en el drenaje de la Ciudad de México. Una opción sería considerar la propuesta presentada en este trabajo.

7. Implementación de un sistema de recolección de aceite usado en la Ciudad de México

En este capítulo se describe el proyecto de recolección de ACU en los mercados de la delegación Cuauhtémoc en la Ciudad de México y se estima, de acuerdo con la información del capítulo previo, el potencial técnico y económico del uso de ACU para su conversión en biodiesel.

7.1 Descripción del proyecto

7.1.1 Objetivo del proyecto

El grupo de energía y cambio climático del Instituto de Ingeniería de la UNAM inició a finales del año 2013 un sistema de recolección de aceite de cocina usado en diferentes mercados de la delegación Cuauhtémoc. El objetivo es recolectar la mayor cantidad posible del ACU producido en locales de preparación de alimentos en los mercados para su transformación en biodiesel y uso en autobuses de la RTP.

7.1.2. Participantes

En dicho sistema participa la UNAM, las autoridades de la delegación, una empresa privada que se encarga de la recolección del ACU y su transformación en biodiesel y la RTP que comprará el biodiesel y lo utilizará en sus autobuses.

En la figura 7.1 se muestra a los participantes del proyecto y las actividades que realiza cada participante.

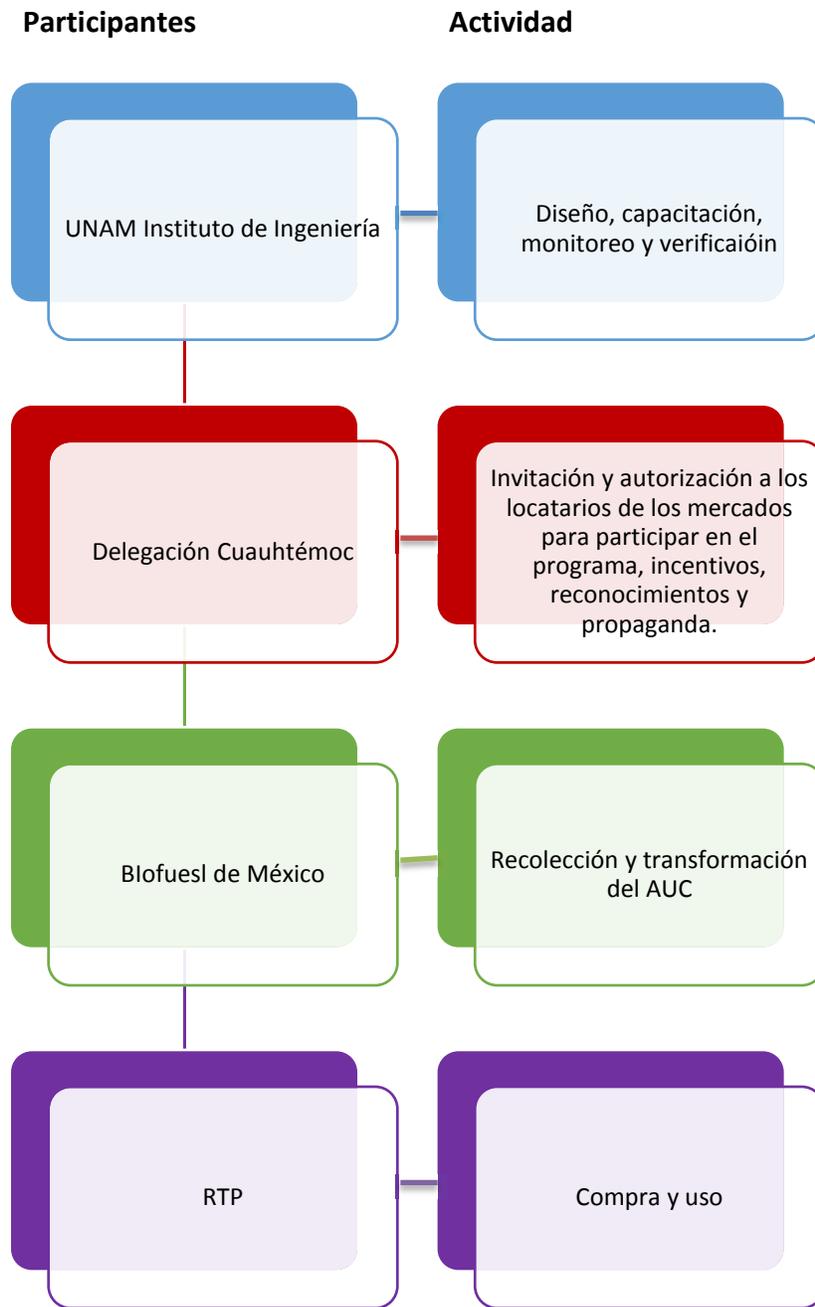


Figura 7.1 Participantes del proyecto de recolección de ACU

7.1.3 Componentes del proyecto

La UNAM se encarga de diseñar el proyecto a partir de los estudios realizados sobre factibilidad de obtención del aceite y su potencial para convertirse en biodiesel. En la capacitación se encarga de instruir a los locatarios sobre la importancia de implantar un sistema de recolección de aceite de cocina usado, re-uso y buen manejo del ACU, así como

de los impactos ambientales que el ACU genera si no se maneja de la manera adecuada. De igual forma, se les capacita en el manejo y almacenamiento del aceite, el cual es depositado en un contenedor proporcionado por la empresa que fabrica el biodiesel.

La capacitación sobre el manejo, consiste en enseñar a los locatarios a recolectar el ACU, su correcto almacenaje en botellas de plástico, así como evitar que mezclen aceite vegetal con grasa animal.

Durante el proceso de implementación de la prueba piloto se realizaron encuestas con la finalidad de conocer el número de clientes y la cantidad de aceite que consume cada local de comida, así como el tipo de comidas que ofrecen, identificar si hay residuos de aceite vegetal o de grasa animal y conocer el tiempo óptimo de recolección del aceite para ahorrar recursos por parte de la empresa de biodiesel.

El seguimiento, monitoreo y verificación consiste en realizar visitas constantes a los diferentes mercados con el fin de evaluar el estado actual del proyecto y no permitir que éste se deteriore.

La delegación por su parte, se encarga de invitar a los diferentes mercados y locatarios a participar en el programa por medio de incentivos (para el desarrollo de su negocio, como el que se garantiza que el negocio tiene el manejo adecuado del ACU), reconocimientos y propaganda que se distribuye a lo largo de la delegación.

La empresa de biodiesel, se encarga de realizar la recolección de los diferentes mercados de acuerdo al calendario de producción de ACU elaborado por los diferentes estudios de la UNAM. Asimismo, se encarga de transformar dicho ACU en biodiesel para posteriormente venderlo a RTP.

La RTP se compromete a comprar el biodiesel elaborado a partir de ACU por la empresa de biodiesel con el fin de ser utilizarlo mezclado con diésel, en los camiones de pasajeros en la Ciudad de México.

7.2 Alcances

El sistema abarca 29 mercados con un total de 1505 locales de comida que se presentan en la Tabla 7.1.

Tabla 7.1 Total de mercados en la delegación Cuauhtémoc

no.	MERCADO	Total de locales	Locales de comida
1	HIDALGO ZONA	874	172
2	SAN JOAQUIN ANEXO	274	18
3	SAN JOAQUIN ZONA	477	76
4	FRANCISCO SARABIA	117	26
5	BEETHOVEN	793	75
6	BUGAMBILIA	201	23
7	LA DALIA	413	37
8	SAN COSME	533	118
9	TEPITO 60 (ROPA Y TELAS)	715	7
10	LAGUNILLA ZONA	573	123
11	DOS DE ABRIL	113	47
12	LAGUNILLA SAN CAMILITO	91	64
13	MARTINEZ DE LA TORRE ZONA	587	130
14	ABELARDO L. RODRIGUEZ ZONA	326	31
15	MELCHOR OCAMPO	515	57
16	SAN JUAN ERNESTO PUGIBET	360	37
17	SAN JUAN ARCOS DE BELEN	417	101
18	MORELIA	147	31
19	ISABEL LA CATOLICA	165	28
20	MERCED MIXCALCO	274	2
21	PEQUEÑO COMERCIO	84	28
22	SAN LUCAS	282	67
23	MICHOACAN	52	10
24	PASAJE CHAPULTEPEC	45	19
25	LAGUNILLA (ROPA Y TELAS)	1040	4
26	INSURGENTES	225	26
27	CUAUHTEMOC	84	32
28	PAULINO NAVARRO	107	21
29	TEPITO ZONA	497	95

Total	10381	1505
--------------	--------------	-------------

7.3 Potencial de reducción de emisiones de los mercados de la delegación Cuauhtémoc

7.3.1 Estimación del consumo de aceite y producción de ACU

Para estimar la cantidad de biodiesel que podría generarse a partir del aceite de dichos mercados y locales, utilizaremos los datos descritos anteriormente en la Tabla 7.1 y a partir de las encuestas realizadas a las diferentes cadenas de restaurantes de comida de servicio completo, autoservicio y comida para llevar, modificando el número de restaurantes, pero conservando el consumo de aceite por comensal y el número de clientes mostrados en la Tabla 5.7.

Determinando el consumo de aceite en los mercados los resultados se muestran en la Tabla 7.2.

Tabla 7.2 Consumo de aceite vegetal en mercados de la delegación Cuauhtémoc

Total de restaurantes en la Delegación Cuauhtémoc	Promedio de comensales al año *	Resultado muestra (Its/año por comensal)	Estimación consumo (millones Its totales/año)	Porcentaje del consumo total del DF
1505	276	9.95 ± 3.24	4.13 ± 1.34	3%

A continuación estimaremos la disponibilidad de ACU con el porcentaje de recolección brindado por Sanborns 2013 cuyos resultados se muestran en la Tabla 7.3.

Tabla 7.3 Disponibilidad de ACU en mercados de la delegación Cuauhtémoc

Fuente	Total de aceite vegetal (millones Its/año)	Tasa	Disponibilidad de ACU (millones Its/año)
Mercados	4.13 ± 1.34	20%	0.826 ± 0.269

En seguida se estimará el potencial de biodiesel a partir del ACU de los mercados. Los resultados se muestran en la Tabla 7.4.

Tabla 7.4 Potencial de Biodiesel a partir de ACU de los mercados de la delegación Cuauhtémoc

Fuente	Disponibilidad de ACU (miles l/año)	Disponibilidad de biodiesel de ACU (miles l/año)
Mercados	827 ± 269	785 ± 255

7.3.2 Uso de biodiesel en autobuses de RTP

Para determinar el número de autobuses que podrían circular al año por el biodiesel generado a partir del ACU de los mercados de la delegación Cuauhtémoc se utilizarán los datos obtenidos en la Tabla 7.4 y utilizando la ecuación 6.4.

Tabla 7.5 Autobuses de RTP factibles de utilizar biodiesel de ACU de mercados de la delegación Cuauhtémoc

Mezcla	Autobuses
10%	200
20%	100

La composición de la flota de camiones de RTP se muestra en el Anexo II, el cual nos indica el número de camiones con tecnología EPA-04.

7.3.3 Emisiones

Utilizando los factores de emisión de la tabla 6.4 y 6.7 calcularemos la reducción de contaminantes asociados a la utilización de biodiesel como combustible en los camiones RTP. Los resultados se presentan en las tablas 7.6 y 7.7.

Tabla 7.6 Emisiones estimadas por la utilización del ACU obtenido en mercados de la delegación Cuauhtémoc

	Emisiones (Ton/año)		
	PM	NOx	CO
Base	7.008	229.22	99.28
B10	2.336	219	67.16
B20	2.263	105.12	47.45

Tabla 7.7 Emisiones de CO₂ estimadas por la utilización de ACU obtenido en mercados de la delegación Cuauhtémoc

	Emisiones de CO ₂ (Ton/año)
Base	20796.37
B10	19168.15
B20	17539.93

Con los datos anteriores se estiman las emisiones estimadas por utilizar el biodiesel generado en los autobuses del sistema RTP, como se muestra a continuación:

Tabla 7.8 Emisiones evitadas por autobús al año

	Emisiones evitadas por autobús al año (Ton/año por autobús)			
	PM	NOx	CO	CO ₂
Base	7.008	229.22	99.28	20796.37
B10	0.01	1.10	0.34	95.84
B20	0.02	1.05	0.47	175.40

Las emisiones evitadas por autobús son significativas puesto que si cada camión del DF utilizará la mezcla de biodiesel, la contaminación del aire se vería reducida en un gran porcentaje.

7.4 Costos

Los costos pueden dividirse en:

7.4.1 Costo del diseño del sistema y capacitación

Costos del Personal

El sistema cuenta con un coordinador, el cual tiene un sueldo \$10,000.00 pesos al mes y su función es la de organizar y dirigir al equipo.

Los capacitadores son los que acuden a los locatarios de los diferentes mercados para instruir a estos acerca del manejo, envasado y disposición del ACU. Son 6 capacitadores con un sueldo de \$4,000.00

Debido a que los capacitadores tienen que trasladarse a los mercados, estos tienen viáticos como gastos de su trabajo, los cuáles son reembolsados por el programa. Los viáticos son alrededor de \$50.00 por visita a los mercados, normalmente se realizan entre 2 y 3 visitas a los mercados por semana aunque en ocasiones se tiene que tener un seguimiento más controlado debido a cualquier duda o aclaración por parte de los locatarios.

Los costos del personal están descritos en la tabla 7.9.

Tabla 7.9 Costos del personal

Costos del Personal					
	Cantidad		Costo Unitario	Costo Total Mensual	Costo Anual
Coordinador	1	[\$]	10,000.00	10,000.00	120,000.00
Capacitadores	6	[\$]	4,000.00	24,000.00	288,000.00
Viáticos	6	[\$]	50.00	3,600.00	43,200.00
	No. de viajes por persona a la semana	3	Total	37,600.00	451,200.00

Costos del Material

El material incluye la impresión de las encuestas, las lonas de promoción del programa para cada mercado que participa, estampas para los locatarios que avalan su participación y certificados para los administradores de los mercados que apoyan al programa.

Los costos de los materiales se describen en la tabla 7.10.

Tabla 7.10 Costos del material

Costos de Material				
Encuestas	No. de Encuestas	1505	[\$]	301.00
Lonas	No. de Lonas	29	[\$]	3,045.00
	Precio de lona	35	[\$/m ²]	
	Tamaño de lona	3	[m ²]	
Estampas	No. de Estampas	1505	[\$]	480.00
Certificados	No. de Certificados	29	[\$]	3,451.00
		Total	[\$]	7,277.00

7.4.2 Costos de la empresa (con y sin inversión)

De acuerdo con la tesis de Ramírez (2013), el costo de la inversión inicial de una planta de biodiesel es de \$1,391,811.14, la cual incluye la compra de 3 vehículos para la recolección del aceite, un reactor, bombas eléctricas, un tanque tolva, tuberías y mangueras para el manejo y traslado del aceite. Para el caso de este sistema de recolección la producción estimada es de 530 a 1040 litros diarios.

Los costos asociados a la planta de biodiesel se muestran en el Anexo III.

*Nota la inversión no considera la compra ni renta del terreno.

Financiamiento

Suponiendo un financiamiento que será utilizado para la inversión inicial de una planta de biodiesel, ofrecido por la Secretaría de Economía, mostrado a continuación, se calcula la anualidad a pagar por dicho financiamiento.

Tipo de financiamiento: Crédito.

Quién lo ofrece: Secretaría de Economía (SE).

Receptor ideal: Negocios que arrancan o en la parte inicial.

Requisitos:

- No tener antecedentes negativos en el Buró de Crédito.
- Aportar al menos 15% del desarrollo del proyecto.

Contactar a alguna incubadora de la Red Nacional de la SE (www.siem.gob.mx/snie/).

Montos: Para empresas tradicionales, el crédito es de hasta 150,000 pesos; tecnología media, hasta 500,000 pesos, y alta tecnología, hasta 1.5 millones de pesos (Siem, 2014).

Contacto: www.siem.gob.mx/snie/

Inflación pronosticada: 5% anual

Interés total: 29.4%

Pago de Anualidad

Considerando un interés del 29.4% de un crédito ofrecido por la Secretaría de Economía

$$A = \text{Inversión inicial} * \frac{\text{interés total} + (1 + \text{interés total})^{\text{No. de años a pagar}}}{(1 + \text{interés total})^{\text{No. de años a pagar}} - 1} \quad (7.1)$$

$$A = 1391811.14 * \frac{0.294 * 1.294^5}{1.294^5 - 1} = \$ 564.895.34$$

Tabla 7.11 Pago de Anualidad del Financiamiento

Año	Interés	Anualidad	Pago a Capital	Deuda después de Pago
0				\$ 1,391,811.14
1	\$ 409,192.48	\$ 564,895.34	\$ 155,702.87	\$ 1,236,108.27
2	\$ 363,415.83	\$ 564,895.34	\$ 201,479.51	\$ 1,034,628.76
3	\$ 304,180.86	\$ 564,895.34	\$ 260,714.49	\$ 773,914.27
4	\$ 227,530.80	\$ 564,895.34	\$ 337,364.55	\$ 436,549.72
5	\$ 128,345.62	\$ 564,895.34	\$ 436,549.72	-\$ 0.00

Durante la operación se requieren de los siguientes recursos:

- Combustible para vehículos
- Energía eléctrica
- Gas LP
- Metanol
- Hidróxido de potasio

La ruta de recolección se estima en 100 km diarios con una carga máxima de 1,040 litros de ACU.

Costos Variables

Las consideraciones que se deben de tomar en cuenta para el cálculo de los costos de operación son:

- Costo del combustible para vehículos. El costo de Pemex diésel es de 13.28 en el año 2014, sin embargo este precio aumenta mes con mes.
- Costo de energía eléctrica. Debido a que la energía eléctrica solo aplica para iluminación y bombeo, no se requiere de una tensión alta para el funcionamiento, por lo que la tarifa correspondiente es la tarifa 2. El cargo por el consumo de energía eléctrica se muestra en la tabla 8.10.

Tabla 7.12 Tarifa de CFE por consumo de Energía

Cargo por energía (\$/kWh)									
Rango	Dic./2013	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.
01-50	2.272	2.281	2.302	2.273	2.287	2.265	2.267	2.278	2.304
51 - 100	2.743	2.754	2.78	2.745	2.761	2.734	2.736	2.75	2.781
Adic.	3.02	3.032	3.061	3.022	3.04	3.01	3.013	3.028	3.063
Cargo fijo (\$)									
Mensual	51.87	51.83	51.81	52.37	52.78	52.85	52.59	52.55	52.66

Fuente: (CFE 2014)

- Costo del gas LP. El precio del gas LP varía por zona, para el DF es de 13.46 (\$/Kg) y de 7.27 (\$/Lt), precio al mes de agosto del 2014.
- Costo del metanol. El precio del metanol se encuentra alrededor de los 8.75 (\$/Lt).
- Costo hidróxido de potasio. El precio del hidróxido de potasio se encuentra alrededor de los 75 (\$/Kg).
- Las horas de operación diarias de las bombas e iluminación de la planta es de 10 horas con un consumo total bimestral de energía eléctrica de alrededor de los 1380 KW/h.

- En la planta actual de biodiesel se hace uso de metanol del 16% del total de aceite de cocina usado y un 1% de hidróxido de potasio para la producción de biodiesel (en un rango de 530 a 1040 L de ACU/diarios).
- El uso del gas LP varía de acuerdo a diversas condiciones, tales como la temperatura del día, la temperatura del reactor y la temperatura del ACU, por lo que se puede estimar el uso de 14 tanques de 20 Kg al mes.

Considerando una producción máxima de biodiesel (1,040 l/diarios) los costos anuales se muestran en la tabla 7.13.

Tabla 7.13 Costos anuales de operación

Costos de operación							
Combustible para vehículos	No. de vehículos	Distancia recorrida al día	Rendimiento del vehículo	Combustible por vehículo	Total de Combustible al año	Precio del Diésel	Costo Total Anual
		[Km/día]	[Km/Lt]	[lts/día]	[lts/año]	[\$/lt]	\$
	3	100	5	20	14400	13.46	193,824.00
Energía eléctrica para bombeo e iluminación	Consumo total de energía eléctrica bimestral	Consumo total de energía eléctrica anual	Precio primeros 50 kW	Siguientes 50 kW	Últimos kW	Costo Total Bimestral	Costo Total Anual
	[kW/h]	[kW/h]	[\$]	[\$]	[\$]	[\$]	[\$]
	1380	8280	115.2	139.05	3920.64	4,174.89	25,049.34
Gas LP	Total de Gas LP		No. de tanques		Precio del Gas LP	Costo Total Anual	
		[Kg/tanque]	[Mes]	[año]	[\$/kg]	[\$]	
		20	14	168	13.46	45,225.60	
Metanol	Cantidad de Metanol por cada 1040 lts de ACU		Cantidad de Metanol al año	Precio del Metanol	Costo Total Anual		
		[lts/día]	[lts/año]	[\$/lt]	[\$]		
		166.4	39936	8.75	349,440.00		
Hidróxido de Potasio	Cantidad de Hidróxido de Potasio por cada 1040 lts de ACU		Cantidad de Hidróxido de Potasio al año	Precio del Hidróxido de Potasio	Costo Total Anual		
		[kg/día]	[Kg/año]	[\$/kg]	[\$]		
		5	1200	75.00	90,000.00		
Total Anual					[\$]	703,538.94	

Gastos Fijos

La mano de obra consta de personal administrativo, operadores, choferes y cargadores, donde el costo del pago de la manutención del personal es alrededor de los \$972,000.00 al año (Ramírez 2013).

El pago de la renta por el lugar ocupado es alrededor de los \$300,000.00 anuales

El mantenimiento de los diferentes equipos, así como de los vehículos y herramientas que se utilizan en el proceso de elaboración del biodiesel, también debe ser considerado por lo que este monto alcanza los \$49,200.26 anuales.

Dado que el aceite es recolectado en mercados donde la participación es voluntaria y el aceite es otorgado gratuitamente, el ACU no tiene costo.

Costos Totales

En la tabla 7.12 se muestran los costos totales para la producción de biodiesel.

Tabla 7.14 Costos totales anuales para la producción de biodiesel con y sin financiamiento

Costos totales Anuales			
Gastos Fijos	Mantenimiento	[\$]	49,200.26
	Mano de obra	[\$]	972,000.00
	Renta	[\$]	300,000.00
Costos Variables	Diésel	[\$]	193,824.00
	Energía eléctrica	[\$]	25,049.34
	Gas LP	[\$]	45,225.60
	Metanol	[\$]	349,440.00
	Hidróxido de Potasio	[\$]	90,000.00
Pago de Inversión Anual		[\$]	\$ 564,895.34
Total con inversión		[\$]	2,589,634.54
Total sin Inversión		[\$]	2,024,739.20
Producción anual de biodiesel	[Lts/año]		249600

7.5 Costo por litro de biodiesel producido

Para calcular el costo del litro de biodiesel producido es necesario tomar los costos del programa y los costos de la empresa de manera que estos gastos puedan ser solventados.

En el costo se incluirá el IVA y se analizará con y sin inversión, como si en la planta productora ya se produjera el biodiesel.

A continuación se muestra el costo y precio de venta del biodiesel considerando la inversión en la tabla 7.15.

Tabla 7.15 Costo por litro de biodiesel producido con inversión

Costo por litro de biodiesel producido con inversión			
Costos totales con inversión		[\$]	2,589,634.54
Costo por litro de biodiesel producido		[\$/lt]	10.38
Precio de Venta	Utilidad		
	10%	[\$/lt]	11.41265223
	20%	[\$/lt]	12.45016607
Precio de Venta + IVA	Utilidad		
	10%	[\$/lt]	13.23867659
	20%	[\$/lt]	14.44219265
	IVA	16%	
Precio de PEMEX Diésel	[\$]	13.46	

En la siguiente tabla se muestra el costo por litro de biodiesel y el precio de venta sin considerar la inversión en la tabla 7.16.

Tabla 7.16 Costo por litro de biodiesel producido sin inversión

Costo por litro de biodiesel producido sin inversión			
Costos totales sin inversión		[\$]	2,024,739.20
Costo por litro de biodiesel producido		[\$/lt]	8.11
Precio de Venta	Utilidad		
	10%	[\$/lt]	8.92
	20%	[\$/lt]	9.73
	30%	[\$/lt]	10.55
	40%	[\$/lt]	11.36
	50%	[\$/lt]	12.17
Precio de Venta + IVA	Utilidad		
	10%	[\$/lt]	10.35
	20%	[\$/lt]	11.29
	30%	[\$/lt]	12.23
	40%	[\$/lt]	13.17
	50%	[\$/lt]	14.11
	IVA	16%	
Precio de PEMEX Diésel	[\$]	13.46	

En el caso del costo del biodiesel con inversión, la única opción rentable es obtener una utilidad del 10% para que tenga un precio competitivo con el Diésel de PEMEX, sin embargo si no consideramos la inversión, podemos observar que se puede aprovechar hasta un 40% de utilidad.

7.6 Punto de Equilibrio

Analizando los gastos y costos de la producción, podemos obtener la venta mínima de litros de biodiesel para conocer en qué punto no se tendrían pérdidas ni ganancias por la producción y venta del biodiesel. El punto de equilibrio se calcula con la siguiente ecuación:

$$PE = \frac{GF}{PV-CV} \quad (7.2)$$

Dónde:

PE= Punto de Equilibrio

GF= Gastos Fijos

PV= Precios de venta

CV= Costos Variable por litro de biodiesel

Sustituyendo los datos de la tabla 7.14 en la ecuación 7.2 obtenemos el punto de equilibrio con y sin inversión.

Tabla 7.17 Punto de Equilibrio

Punto de Equilibrio			
Gastos Fijos	1,321,200.26	PE con inversión	260,365.50
Gastos Fijos más inversión	2,713,011.40	PE sin inversión	127,589.10
Costos Variables	2.82		
Precio de Venta con Inversión	13.24	Tiempo de recuperación [años] (con inversión)	1.04
Precio de Venta sin Inversión	13.17	Tiempo de recuperación [años] (sin inversión)	0.51

***Nota:** Se considera la inversión dentro de los gastos

Como podemos observar el punto de equilibrio se alcanza a los 260,365.5 litros vendidos los cuales se alcanzan en un periodo de un año, considerando la inversión y 127,589.1 litros, sin la inversión en un periodo de medio año.

A partir de esta información se puede concluir que el sistema representa un beneficio económico para la empresa y que es un proyecto factible.

8. Evaluación de la operación del sistema de recolección de aceite de cocina usado para producir biodiesel.

En este capítulo se evalúa el funcionamiento del sistema de recolección de ACU con base en *lean manufacturing* y así lograr la calidad del sistema de recolección de ACU, asimismo, que proyectos futuros tengan una base de la cual partir e implementar mejoras en su proceso para operar de manera más eficiente.

De acuerdo a la tesis “Manual de apoyo para la capacitación en Lean Manufacturing” (Peñaflor 2012), existen una serie de herramientas a considerar para conseguir un proceso eficiente.

8.1 Lean Manufacturing

Es una metodología que se basa en principios, técnicas y herramientas que se aplica a los procesos con el objetivo de que dichos procesos operen de manera más eficiente.

8.1.1 “9 Desperdicios”

Existen 9 desperdicios involucrados en cualquier proceso, los cuales deben erradicarse o atenuarse de manera que se pueda operar de forma eficiente.

Los 9 desperdicios son los siguientes:

- Re trabajo: Aquella actividad en la que se dedica más recursos debido a una falla.
- Defectos: Es todo aquello que no cumple con las especificaciones de diseño.
- Movimientos: Aquellas operaciones que no involucran algún cambio en el elemento a producir.
- Sobre producción: significa producir más de lo que se demanda.
- Inventario: Es el conjunto de bienes que tiene una organización para generar ingresos.
- Espera: Es el tiempo que espera una operación debido a la demora de otra.
- Transporte: Es aquella actividad donde el material solo cambia de lugar pero no se transforma.
- Talento de la gente: No involucrar a los compañeros de trabajo para mejorar su trabajo.
- Re priorización: Aquella actividad a la que se asigna mayor importancia que al desarrollo del producto.



Figura 8.1 9 Desperdicios

Fuente: Elaboración propia a partir de la información de Peñaflor 2012

8.2 Herramientas de Lean Manufacturing

8.2.1 5's (Organización, limpieza y planeación)

Es una metodología japonesa que se basa en la organización y la limpieza del lugar de trabajo con la finalidad de mejorar la eficiencia de los procesos en los que se aplica.

Tiene como objetivos:

- Mejorar el control
- Ubicar objetos
- Ergonomía
- Mejorar la moral.

Para llevar a cabo la organización y limpieza se realizan las siguientes actividades:

S1: *Seiri* (Separar y Descartar)

Se eliminan los objetos no esenciales en el lugar de trabajo y se crea un ambiente de trabajo agradable y eficiente.

S2: *Seiton* (Ordenar)

Una vez seleccionados los objetos de trabajo, se ordenan, se colocan en un lugar visible “cada cosa en su lugar y un lugar para cada cosa”, y se señaliza cada objeto.

S3: Seiso (Limpiar)

Limpiar todas las áreas de trabajo, así como maquinaria e instalaciones.

S4: Seiketsu (Estandarizar)

Hacer simple y repetitiva la organización de manera que el trabajo se pueda realizar de manera más sencilla.

S5: Shitsuke (Sostener)

Motivar al personal a mantener los cambios efectuados en todo momento.

8.2.2 Poka-Yoke

Es una herramienta japonesa conocida como “A prueba de errores”. Con esta herramienta se busca prevenir errores que puedan ocasionar defectos. Este puede ser un objeto físico (ejemplo: una memoria de almacenamiento USB) o formatos de papel que eviten errores de registros.

Poka: Inadvertido,

Yoke: Error

8.2.3 VSM (Value Stream Mapping)

El VSM (Value Stream Mapping o Flujo de Valor) es la serie de actividades requeridas para entregar el producto al cliente partiendo desde la obtención de la materia prima. Con esta herramienta se busca conocer todos los componentes de un proceso.

8.2.4 Estandarización

Secuencia de actividades descritas detalladamente para realizar el trabajo, la cantidad de material a utilizar y los tiempos en los que deben efectuarse dichas actividades. Con esta herramienta se busca que las actividades se realicen de manera más práctica y se eliminen errores.

Tiempo TAKT: Término referido a la cantidad de tiempo en el cual deben de producirse los productos para satisfacer la demanda sin demoras.

Tiempo de Ciclo: Es el tiempo requerido para completar una sola actividad del proceso, ya sea por máquina o por una persona incluye las cargas y descargas.

Tiempo de producción: Es el tiempo que se emplea para producir el producto desde que es materia prima hasta que es terminado.

8.2.5 SMED (Single Minute Exchange of Dies)

Es una herramienta que se utiliza para realizar cambios de formato en pocos minutos. Se busca reducir el tiempo invertido al realizar cualquier cambio de herramienta y el proceso pueda seguir fluyendo sin detenerse por tiempos prolongados.

8.2.6 Kanban

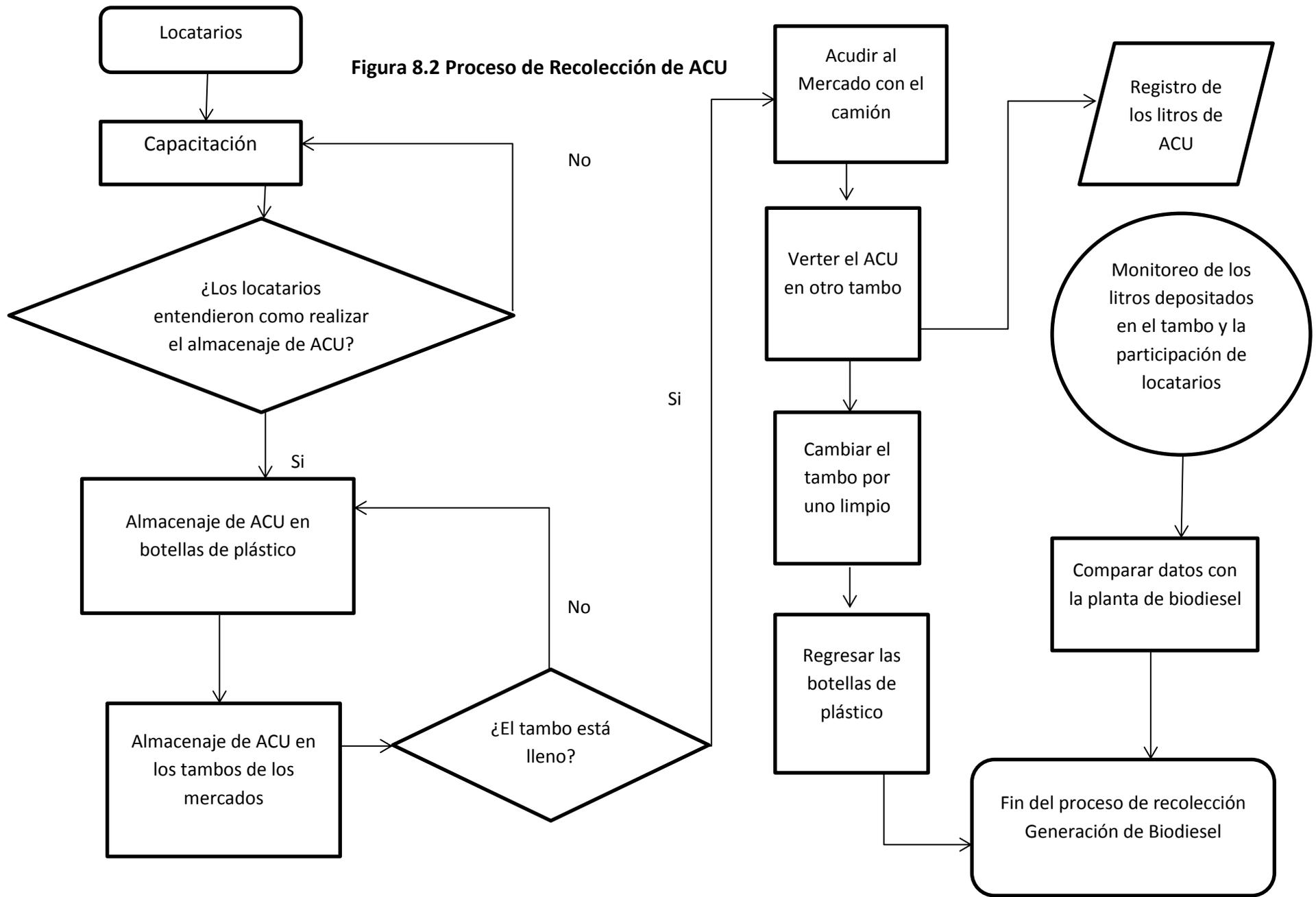
Es una herramienta que utiliza tarjetas como comunicación entre un proceso y otro, sirve para controlar el flujo de materiales, la producción y el inventario en todo el sistema de producción. Se busca que se mantenga un orden de producción y no se realicen más productos de los que se demandan.

8.3 Aplicación de las herramientas de Lean Manufacturing al sistema de recolección de ACU, según su Diseño Actual

Descripción de las etapas y actividades del sistema de recolección de ACU

- Capacitación del locatario: Los representantes del Instituto de Ingeniería acuden a cada mercado, organizan una asamblea con los locatarios y les brindan una plática acerca del ACU, los problemas que causa, como se convierte a biodiesel y los beneficios que conlleva esa conversión. Se dicta un curso donde se les explica cómo se debe manejar y almacenar el ACU para poder ser trasladado de manera eficiente a la planta de biodiesel para su posterior conversión a biodiesel.
- Almacenaje del ACU por local. El locatario elabora sus alimentos y deposita el ACU de desecho en botellas de plástico.
- Almacenaje del ACU por mercado: Las botellas de plásticos son llevadas a un tambo proporcionado por la planta de biodiesel donde se almacenan todas las botellas de todos los locales.
- Recolección del ACU: La empresa de biodiesel recolecta el aceite de acuerdo a sus rutas con otros proveedores de ACU, vierte el aceite en uno de sus tambos, regresa las botellas utilizadas y cambia el tambo por uno limpio.
- Monitoreo del proceso: con la finalidad de dar seguimiento a los locatarios y vigilar el adecuado almacenamiento y recolección del ACU, los representantes del Instituto de Ingeniería registran la cantidad de ACU producido por local y mercado, así como las condiciones de su almacenamiento y recolección y proponen mejoras, si es necesario.
- Verificación: Se comparan los datos registrados por el Instituto de Ingeniería con los reportados por parte de la empresa de biodiesel.

Proceso de Recolección de ACU



Durante el proceso de recolección (fig. 8.2) se analizó cada actividad y etapa, a partir del constante monitoreo de los mercados por parte del equipo de Energía y Cambio Climático del Instituto de Ingeniería de la UNAM, lo que permitió errores y áreas de oportunidad los cuales se describen a continuación.

8.3.1 Etapa de almacenamiento de ACU por local.

En esta etapa se detectó un problema de almacenamiento inadecuado, ya que algunos locatarios depositan en los tambos el ACU:

- En bolsas de plástico que se rompen y se derrama el ACU dentro del tambo.
- Aún caliente, lo que ocasiona que las botellas se deformen y se corre el riesgo de fractura de las mismas con igual riesgo de derrame de su contenido.
- Con residuos de comida que generan malos olores con el paso del tiempo y un ACU más sucio que exige un tratamiento de filtrado mayor.
- Sin llenar totalmente las botellas, lo que produce que el tambo contenga un volumen de aire, se llene y se realice la recolección de una cantidad menor de ACU de la esperada, lo que incide en la frecuencia de recolección.
- Así como grasa animal que no es utilizada por la empresa de biodiesel, que como en el caso anterior incide en la cantidad efectiva de ACU recolectada y en la frecuencia de recolección.

8.3.2 Etapa de Almacenamiento de ACU por mercado

El almacenamiento por mercado se ve directamente afectado por el almacenamiento inadecuado del ACU por parte de los locatarios, ya que estos no cuentan con las herramientas para depositar el ACU y no realizan las actividades de almacenamiento de acuerdo a la capacitación, lo que repercute negativamente en los resultados esperados. Además se produce un efecto negativo y nocivo para el sistema debido a la falta de higiene y los malos olores en los tambos y áreas próximas a éstos.

8.3.3 Etapa de recolección de ACU

En esta etapa, la empresa de biodiesel recolecta el ACU según lo acordado, pero no mide las cantidades generadas por mercado, sólo hace estimaciones, lo que provoca errores al momento de comparar datos con el trabajo realizado por el Instituto de Ingeniería.

Además no diseñaron ni efectuaron una programación de las visitas a los mercados, éstas se hacen de manera esporádica, lo que también incide de manera negativa al sistema, ya que los locatarios se desmotivan.

8.3.4 Monitoreo

No se entendió el objetivo del monitoreo. Éste se basó en la cantidad de ACU obtenido dentro de los mercados y no en la participación de los locatarios. No se propusieron mejoras a las condiciones de almacenamiento y recolección descritas.

8.3.5 Verificación

Los datos registrados por el Instituto de Ingeniería no coinciden con los presentados por la empresa de biodiesel, debido a que ésta no utiliza algún instrumento para medir la cantidad de ACU recolectado.

Tabla 8.1 Diagnóstico 9 Desperdicios

Diagnóstico 9 Desperdicios	
Re trabajos	Introducir el ACU en una botella de plástico que después será depositada en un tambo, vaciar el tambo de las botellas y verter el ACU de las botellas a otro tambo.
Defectos	ACU en bolsas de plástico, o caliente y mezcla de ACU con grasa animal. Los locatarios no cuentan con las herramientas necesarias para almacenar el ACU.
Movimientos	El ACU pasa a una botella, la botella va a un tambo, la botella sale del tambo, el ACU sale de la botella a un tambo.
Sobre producción	El ACU supera la capacidad de los tambos debido a la falta de programación de la recolección.
Inventario	Es incierto, debido a que la empresa de biodiesel no emplea instrumento alguno para medir la cantidad de ACU generado por mercado.
Espera	Demasiado tiempo de espera del ACU para su recolección. Las visitas que se realizan a los mercados son esporádicas, no tienen ninguna planeación.
Transporte	Al ACU se transporta del local al tambo para después ser transportado a otro tambo y finalmente a la planta de biodiesel.
Talento de la Gente	No se ha consultado a los locatarios si tienen alguna idea de mejora. No se les informó a los locatarios de los problemas presentados.
Re priorización	No se le da importancia a la recolección de datos.

8.4 Propuestas de Mejora

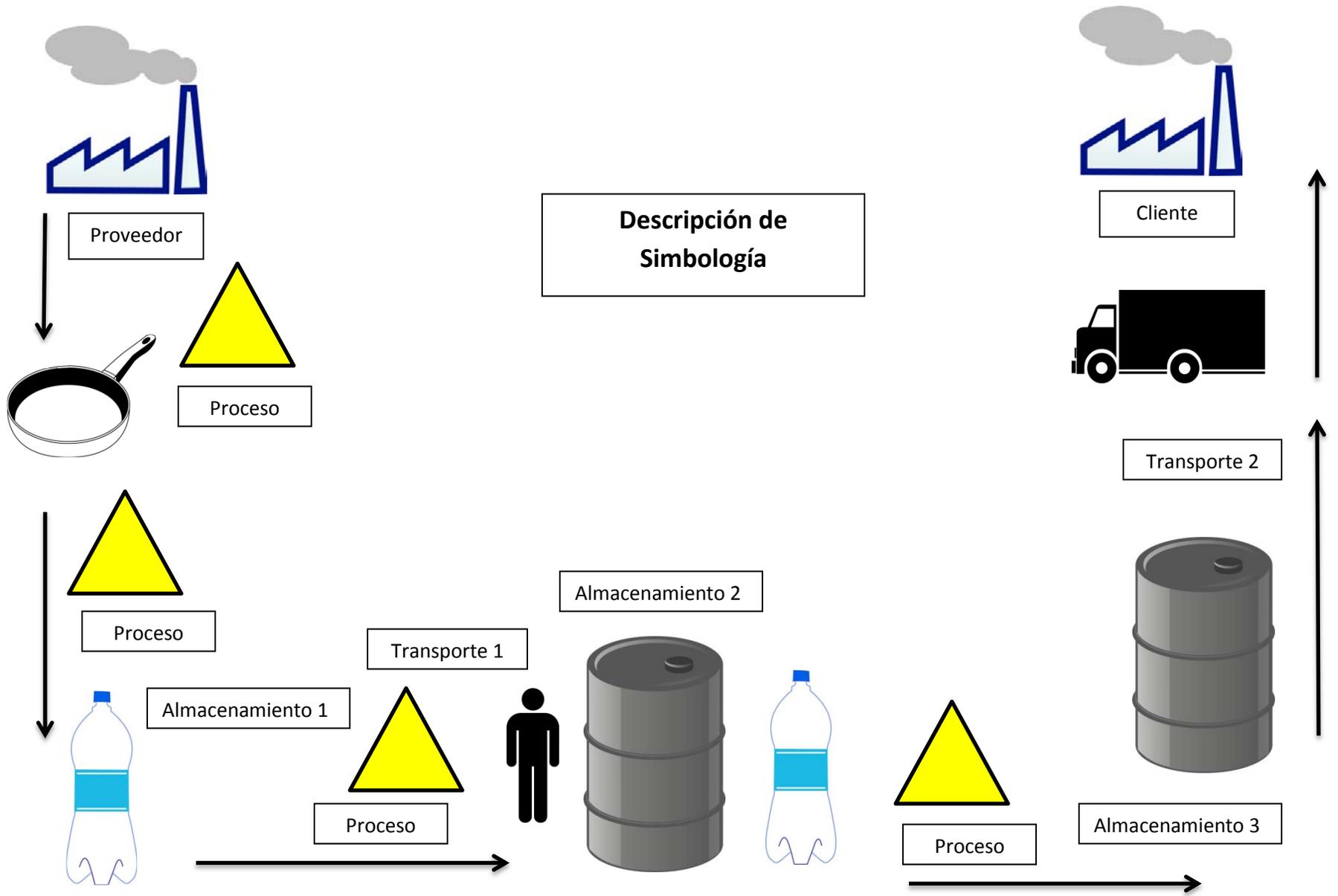
8.4.1 VSM: Mapa del Flujo de Materiales

En el siguiente mapa se muestra el proceso que se da para que el ACU llegue a la fábrica y pueda producirse el Biodiesel. Debido a que la producción de biodiesel es realizada por un agente privado, el método de producción no se verá evaluado.

Las herramientas que se utilizaron para evaluar el sistema de recolección son:

- SMED
- Estandarización
- 5'S
- Poka-Yoke

Figura 8.3 Value Stream Map (VSM) Descripción de simbología



Propuestas de mejoras

La herramienta SMED busca agilizar el vertido del ACU de una botella al tambo.

La estandarización busca que todos los locatarios puedan realizar las mismas actividades con mínimas variaciones, de manera que todos utilicen las mismas herramientas.

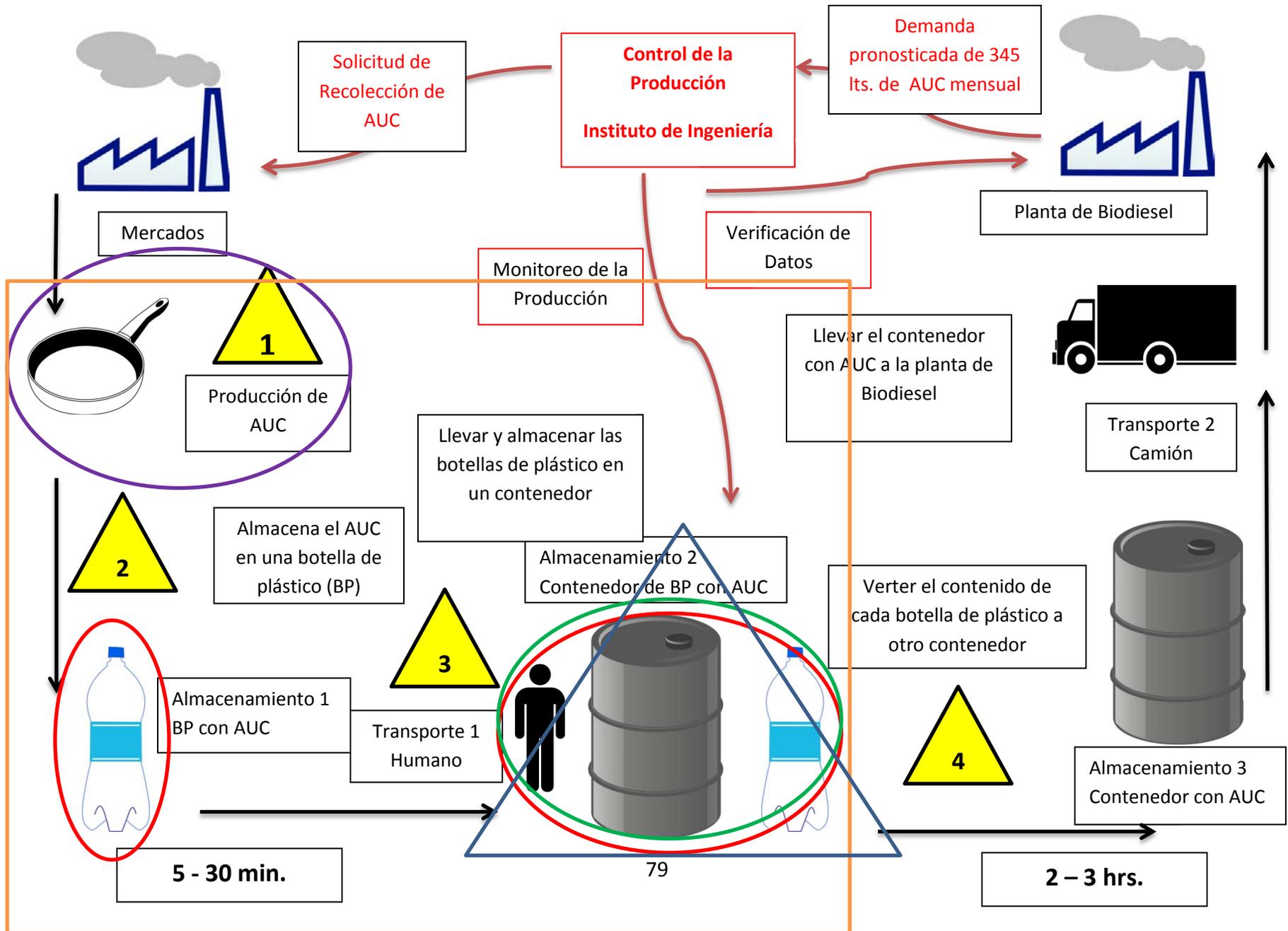
Las 5's buscan que el lugar de trabajo se encuentre en orden y limpio en todo momento y que sea de fácil acceso.

La herramienta Poka-Yoke es utilizada para evitar los errores durante el registro y monitoreo de los litros de ACU por parte de los locatarios, el Instituto de Ingeniería y la empresa de biodiesel.

A partir del análisis realizado con las herramientas de lean manufacturing se diseñaron las siguientes propuestas:

- Romper paradigma de los locatarios por abstención de participar de manera adecuada por medio de incentivos más fuertes (kits de cocina, aceite de cocina, etc.) y reconocimientos.
- **SMED:** Brindar a los locatarios las herramientas necesarias para poder realizar una operación más rápida y sencilla al momento de almacenar su ACU en el contenedor para todos los locatarios solamente se vaciara el ACU.
- **Estandarización:** Se proporcionará a los locatarios las mismas herramientas sin excepción alguna y se les otorgará un pequeño manual sobre cómo realizar un manejo integral de su ACU.
- **5's:** se diseñará en conjunto con los involucrados, un calendario de limpieza y un calendario de recolección. En la etapa de monitoreo se vigilará el cumplimiento de los mismos, y se diseñarán y se pondrán en ejecución acciones correctivas, de ser necesario.
- **Poka-Yoke:** Entregar plantillas donde los locatarios registren su participación y la cantidad de ACU depositado, firmado por locatarios, Instituto de Ingeniería y la empresa de biodiesel al momento de inspecciones, con fecha y hora y datos recolectados. Así como la verificación por parte del Instituto de Ingeniería de la cantidad de litros y de igual forma por parte de la empresa de biodiesel.

Figura 8.4 Value Stream Map (VSM) Flujo Actual



Processing Time: 2.08 – 3.5 hrs. por tambo

Código de colores

- **SMED**
- **Estandarización**
- **5'S**
- **Poka-Yoke**

El cursograma analítico no forma parte de las herramientas de Lean Manufacturing pero es una herramienta utilizada por los ingenieros industriales para conocer los movimientos y tiempos de producción a partir de las cinco actividades fundamentales descritas a continuación (García, 2002):

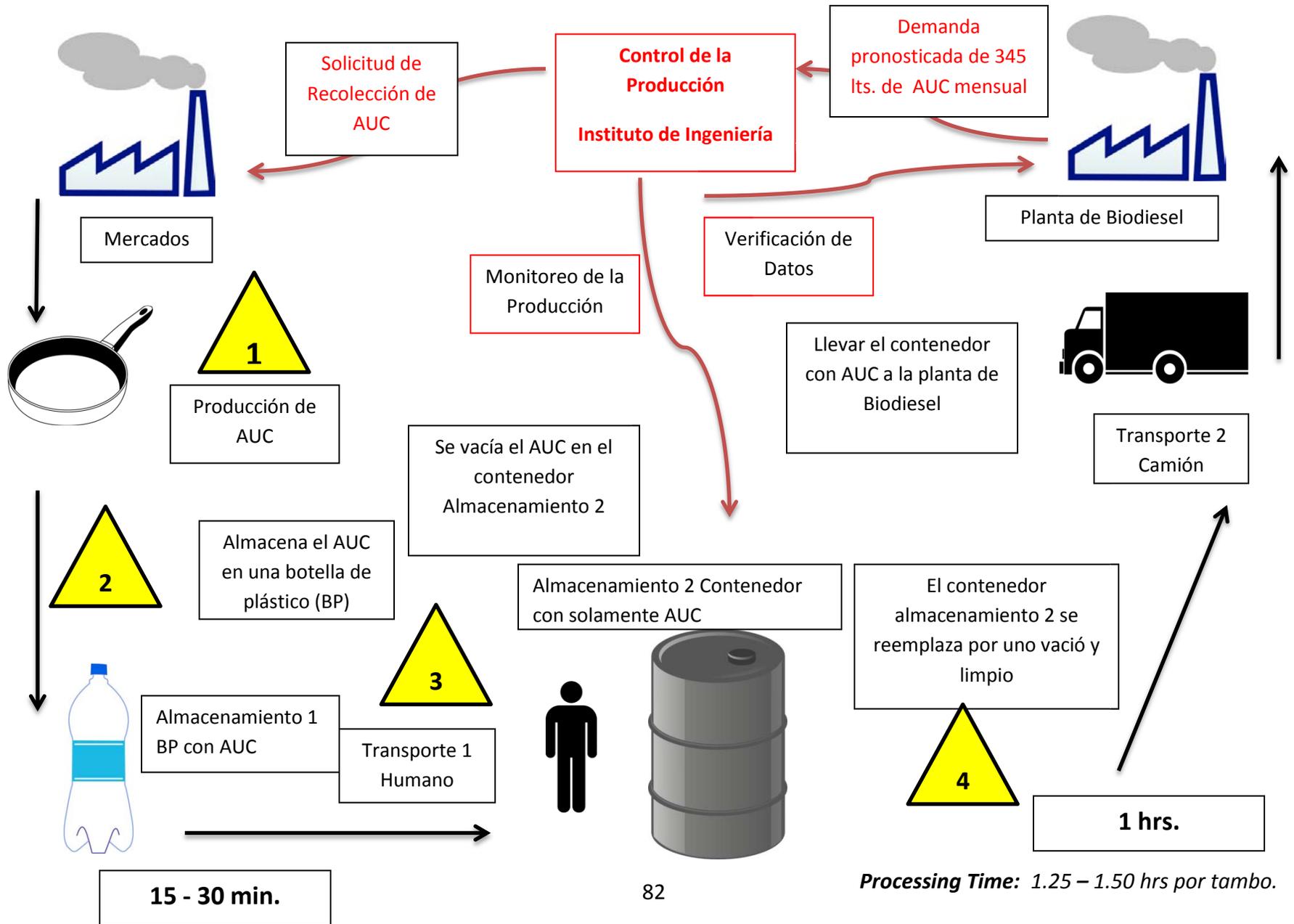
-  Operación: Indica las principales fases del proceso, método o procedimiento. Por lo común, la pieza, materia o producto del caso se modifica durante la operación.
-  Transporte: Indica el movimiento de los trabajadores, materiales y equipo, de un lugar a otro.
-  Demora: Indica demora en el desarrollo de los hechos: por ejemplo trabajo en suspenso entre dos operaciones sucesivas, o abandono momentáneo no registrado de cualquier objeto hasta que se necesite.
-  Inspección: Indica que se verifica la calidad, la cantidad o ambas.
-  Almacenaje: Indica depósito de un objeto bajo vigilancia en un almacén donde se lo recibe o entrega mediante alguna forma de autorización o donde se guarda con fines de referencia.

A continuación se muestra un cursograma analítico del proceso para tener una mejor descripción del proceso en la figura 8.5.

Figura 8.5 Cursograma analítico del proceso actual

CURSOGRAMA ANALÍTICO				OPERARIO					
DIAGRAMA	Actual	HOJA		RESUMEN					
OBJETO	Aceite de cocina usado			ACTIVIDAD	ACTUAL	PROPUESTO	ECONO.		
ACTIVIDAD	Sistema de recolección de ACU			OPERACIÓN	8	3	5		
MÉTODO ACTUAL				TRANSPORTE	3	3	0		
LUGAR	Mercados de la Delegación Cuahatemoc			DEMORA	0	0	0		
OPERARIO	Locatarios			INSPECCIÓN	3	3	0		
COMPUESTO POR	Omar Diaz			ALMACENAMIENTO	2	2	0		
FECHA	Noviembre 2014			DISTANCIA (metros)	Los tiempos, distancias y cantidades varían entre un local y otro.				
				TIEMPO (min-hombre)	Los tiempos se tomaron como los extremos superiores (tiempos máximos)				
					210 minutos				
DESCRIPCION	Canti- dad	Distan- cia	Tiem- po	○	➔	◐	◑	▽	OBSERVACIONES
Producción de ACU			30 min	*					Locatarios
Vaciado de ACU en botella de plástico									
Almacenado de ACU en botella de plástico									
Traslado de ACU en botella de plástico a conetenedor									
Meter las botellas de plástico con ACU en el conetenedor									
Almacenamiento de las botellas de plástico con ACU en el conetenedor									
Transporte del camion recolector a los mercados			3 hrs.						Operación de la planta de Biodiesel
Sacar botellas de plástico									
Sacar nuevo conetenedor									
Vaciar ACU en un nuevo conetenedor									
Regresar las botellas de plástico									
Meter el conetenedor al camion									
Registrar los litros de ACU obtenidos									
Verificar datos									
Transportar el conetenedor a la planta									
Monitoreo de la producción									
								Instituto de Ingeniería	
								Operación de la planta de Biodiesel	
								Instituto de Ingeniería	

Figura 8.6 Value Stream Map (VSM) Flujo propuesto



A continuación se muestra el cursograma analítico del proceso propuesto en la figura 8.7

Figura 8.7 Cursograma analítico proceso propuesto

CURSOGRAMA ANALÍTICO					OPERARIO					
DIAGRAMA	Propuesto	HOJA	RESUMEN							
OBJETO	Aceite de cocina usado		ACTIVIDAD	ACTUAL	PROPUESTO	ECONO.				
ACTIVIDAD	Sistema de recolección de ACU		OPERACIÓN	○	8	3	5			
MÉTODO ACTUAL			TRANSPORTE	⇨	3	3	0			
LUGAR	Mercados de la Delegación Cuahatemoc		DEMORA	○	0	0	0			
OPERARIO	Locatarios		INSPECCIÓN	□	3	3	0			
COMPUESTO POR	Omar Diaz		ALMACENAMIENTO	▽	2	2	0			
FECHA	Noviembre 2014		DISTANCIA (metros)	Los tiempos, distancias y cantidades varían						
			TIEMPO (min-hombre)	Los tiempos se tomaron como los extremos						
			90 minutos							
DESCRIPCION	Canti- dad	Distan- cia	Tiem- po	○	⇨	○	□	▽	OBSERVACIONES	
Producción de ACU			30 min	*					Locatarios	
Vaciado de ACU en contenedor de 5 litros										
Almacenamiento de ACU en contenedor										
Transporte de contenedor de 5 litros			1 hr.						Operario de la planta de Biodiesel	
Vaciado de contenedor de 5 litros a contenedor de 200 litros										
Almacenamiento de ACU en contenedor de 200 litros										
Transporte de camion recolector a los mercados			1 hr.						Instituto de Ingenieria UNAM	
Intercambio de contenedores de 200 litros										
Resgistrar litros obtenidos										
Verificar datos			1 hr.						Operario de la planta de Biodiesel	
Transportar contenedor de 200 litros con ACU a la planta										
Monitoreo de la producción										
									Instituto de Ingenieria UNAM	

Como se puede observar al comparar los mapas de valor y los cursogramas analíticos actuales y propuestos, no existen grandes cambios, sin embargo se eliminarían procesos y tiempos innecesarios, se estandarizarían las actividades que realizan los locatarios al utilizar las mismas herramientas, se incluirían calendarios y plantillas para ayudar al buen funcionamiento del programa con la implementación de las herramientas de lean manufacturing.

8.4.2 Paradigmas

Los paradigmas responden a la apatía de los locatarios para participar en el programa por lo cual se describen las siguientes propuestas.

El primer paso para la implementación de las herramientas es acudir a los locatarios y romper cualquier paradigma que tengan acerca del programa y sus beneficios. Demostrándoles que su participación es muy importante y que trae beneficios tanto para ellos como a la comunidad en general.

Los incentivos como diplomas, reconocimientos son importantes para romper los paradigmas ya que será más sencillo que cooperen si reciben algo a cambio de su participación y esfuerzo. Asimismo si se programan visitas a la planta de biodiesel para reforzar el sistema de recolección y la distribución del biodiesel a la RTP.

8.4.3 SMED

El SMED ayudará a agilizar los procesos de almacenamiento, transporte y vertido del ACU.

Todos los locatarios contarán con las mismas herramientas de iguales proporciones y marcas para que los procesos puedan estandarizarse y la terea de manejo del ACU sea más rápida y sencilla.

Las herramientas a utilizar serían las siguientes:

- Embudo

Con este embudo se evitará el derrame de ACU al momento de su vaciado en los botes de plástico de 5 litros y en el contenedor final, de manera que tanto la cocina de los locatarios como el contenedor se mantendrán limpios.

- Colador

Con el colador se busca eliminar los residuos de comida más grandes, su descomposición dentro del contenedor y la generación



de mal olor, todo esto ayuda al proceso de conversión de ACU a biodiesel al proporcionar un ACU con menos contaminantes.

- Bote de 5 litros graduado para ACU por local (graduación por cada 100 ml).

Este bote será en el que los locatarios almacenarán su ACU. Lo llevarán al lugar de disposición cuando esté lleno o bien, cuando se aproxime la fecha de recolección por mercado.

- Bote de 200 litros graduado para ACU (graduación por cada 100 ml)

En este bote se vaciará el ACU que se encuentra dentro de los botes de 5 litros de manera que se evite el almacenamiento de botellas, las cuales generan volúmenes innecesarios, mayor peso y son susceptibles a posibles derrames dentro del contenedor. El bote de 200 litros contará con una tapa que a su vez tendrá una tapa más pequeña por la que se verterá por medio de un embudo, el ACU proveniente de los botes de 5 litros.

Este contenedor permanecerá cerrado en todo momento para evitar el escape de olores.

Fuente: Imágenes tomadas de AISLINN, Avance y Tecnología en plásticos, Tamborina Tocantis, Utensilios para cocina.

El uso de estas herramientas reduce el tiempo de vaciado de ACU en las botellas de plástico, así como de recolección, ya que no es necesario realizar otro vaciado solo intercambiar contenedores.

8.4.4 Estandarización

Manual para el manejo integral del ACU

A continuación se describen los pasos a seguir para tener un manejo integral del ACU, con lo cual se busca que el ACU se encuentre con la menor cantidad de residuos de comida, se eviten derrames, quemaduras a las personas y cualquier daño a herramientas o utensilios para almacenar el ACU.



Capacitación por parte del Instituto de Ingeniería.

Los representantes del Instituto de Ingeniería diseñarán un formato de capacitación que asegure la atención y captación de las condiciones y beneficios del programa. Durante la capacitación se procederá a:

1. Hablar directamente con los administradores de los mercados para explicarles en que consiste el programa y organizar una asamblea para capacitar a los locatarios sobre el manejo integral del ACU.
2. Durante la asamblea se proporcionará el manual del manejo integral del ACU a los locatarios.
3. Se les hablará acerca de que es el ACU, cuales son los peligros o consecuencias que puede provocar un manejo inadecuado del ACU.
4. Se les hablará acerca de los beneficios que se pueden obtener del ACU se este es reutilizado.
5. Se darán ejemplos prácticos acerca del manejo del ACU.
6. Se les preguntará a los locatarios si tienen alguna duda o quieren aportar alguna idea o comentario.
7. Proporcionar datos de contacto a los locatarios para que puedan comunicar cualquier desperfecto, duda o sugerencia al programa.

Manejo integral del ACU para los locatarios

Se entregará un folleto con explicaciones directas y gráficas del proceso de manejo del aceite que desechan, como sigue:

1. Una vez que se hayan terminado de preparar los alimentos, esperar a que el aceite se enfríe (si se va a utilizar esa misma olla o sartén para preparar otros alimentos, vaciar el aceite caliente a otro recipiente metálico).
2. Una vez que el ACU se encuentra a temperatura ambiente, colocar el embudo en el bote de 5 litros y encima del embudo colocar el colador para filtrar los residuos de comida, tirar los residuos en el depósito de basura orgánica.
3. Si hubo algún derrame accidental limpiar cualquier área afectada ya sea de la cocina o del bote con una servilleta de papel y depositarla en el depósito de la basura orgánica. Es muy importante que el bote se encuentre totalmente limpio para que la tapa pueda cerrar firmemente y se eviten futuros derrames.
4. Una vez que el bote de 5 litros se encuentre a su máxima capacidad o se aproxime la fecha de recolección de ACU, registrar en la plantilla cuantos litros de ACU se depositarán en el contenedor de 200 litros (el bote de 5 litros deberá estar graduado).

5. Llevar el bote de 5 litros al sitio en el que se ubica el contenedor de 200 litros, abrir la tapa pequeña del contenedor para depositar el ACU por medio del embudo.
6. Cerrar firmemente la tapa del contenedor de 200 litros.
7. Limpiar cualquier posible derrame que haya ocurrido sobre el contenedor de 200 litros.
8. Una vez asegurados de que se ha depositado la mayor cantidad de ACU en el contenedor y no escurre más ACU se procede a limpiar el bote de 5 litros con agua y jabón para evitar el deterioro del bote de 5 litros y malos olores en el local.

Manejo integral del ACU para la planta de Biodiesel

1. Realizar un estudio para conocer el tiempo óptimo de recolección para los mercados.
2. Acordar un calendario de recolección con el Instituto de Ingeniería y los locatarios.
3. Asistir a cada mercado para recolectar el ACU de acuerdo al calendario previamente acordado
4. Al arribar al mercado para recolectar el ACU se deberá registrar y comparar con la plantilla que deberá estar colocado a un lado del contenedor, los litros de ACU que se encuentra en el contenedor de 200 litros (se abrirá la tapa grande del contenedor de 200 litros y se comparará con la graduación externa del contenedor).
5. Se procederá a trasladar el contenedor de 200 litros con ACU al camión de la planta de biodiesel y se intercambiará por otro contenedor de 200 litros vacío y limpio.
6. Se rectificará que no se encuentren derrames de ACU en el área del contenedor, en caso de existir suciedad o derrame en dicha zona se le pedirá al conserje del mercado su limpieza inmediata antes de depositar el contenedor de 1200 litros vacío y limpio en esa zona.
7. Dar aviso al Instituto de Ingeniería acerca de la recolección exitosa y cualquier anomalía que se haya presentado.

Manual de recolección de datos del Instituto de Ingeniería

1. Asistir a los mercados para recolectar las plantillas de registro de ACU y verificar datos de ACU por local, total y valores registrados de ACU por la planta de biodiesel.
2. Realizar estadística de los datos.
3. Evaluar cualquier posible error de registro.
4. Realizar monitoreos de datos para rectificar si existen bajas en la producción de ACU y encontrar las causas.
5. Realizar una asamblea para otorgar reconocimientos y reforzar la participación de los locatarios, a su vez preguntar si tienen alguna duda y/o quieren aportar alguna idea de mejora para el programa.
6. Discutir las ideas, comentarios o sugerencias de los locatarios para ver si es posible su implementación o como se podría mejorar el programa.

*En caso de presentarse varianzas en los datos obtenidos y que no concuerden los datos se seguirán los siguientes pasos:

1. Presentarse al mercado en el que no concuerdan los datos y organizar una asamblea.
2. Hablar con los locatarios acerca de los problemas que se han presentado durante el programa.
3. Preguntar a los locatarios si existe alguna duda acerca del programa.
4. Reafirma lo que se busca de los locatarios y la importancia de su participación.

8.4.5 Poka-Yoke

El Poka-Yoke consistirá en una plantilla en la cual los locatarios deberán de registrar la cantidad de ACU que depositan en el contenedor de 200 litros, incluyendo su nombre y número de local, al obtener estos datos se podrá registrar con seguridad quienes son las personas que se preocupan por participar y a quienes se les tiene que hacer un reconocimiento por ello, lo cual a su vez nos proporciona información estimada acerca de la cantidad total del ACU. Ésta plantilla deberá colocarse a un lado del contenedor de 200 litros y deberá estar protegida por un folder de plástico.

Debido a que la empresa de biodiesel debe registrar la cantidad de aceite que se recoge para llevar a la planta por medio de los encargados del monitoreo del programa que se encargan de verificar los datos se pueden encontrar fácilmente cualquier falla o error con lo cual se procedería a investigar para reforzar aquella área de falla.

Así mismo la plantilla incluye una opción de comentarios y sugerencias, se busca que en esta área los locatarios puedan reportar cualquier anomalía y o agregar alguna sugerencia.

Figura 8.8 Plantilla de Registro de Aceite de cocina usado

Plantilla de Registro de Aceite de cocina usado

Mercado:					
	Local	Nombre del Responsable	Litros que deposita	Firma	Comentarios y/o sugerencias
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
Total				Firma Ingen	
Litros que registra la empresa de biodiesel				Firma la empresa de biodiesel	

8.4.6 5's

Las 5's serán implementadas para mantener el área del contenedor limpia y organizada.

Se señalará el área por medio de un letrero con la leyenda "Área de almacenamiento de ACU".

Se buscará eliminar cualquier objeto que no sea útil para el almacenamiento y recolección del ACU. Asimismo se evitará en lo posible, que los contenedores de ACU se encuentren junto a depósitos de basura con la finalidad de evitar que los usuarios de los mercados lo utilicen para colocar su basura. Donde los responsables de estas tareas serán compañeros del Instituto de Ingeniería, el administrador del mercado y el encargado de la limpieza.

Se señalará el área por medio de un letrero que con la leyenda "Área de almacenamiento de ACU".

Se limpiará la zona del contenedor, estableciendo un calendario de limpieza con los responsables de la limpieza y los administradores de los mercados.

El uso del contenedor deberá ser el mismo establecido por el manual para los locatarios.

Tanto los locatarios, los administradores, la empresa de biodiesel y los responsables del Instituto de Ingeniería, deberán ser garantes del monitoreo de los diferentes procesos y de cada una de las herramientas a utilizar durante todo el proceso de recolección del ACU, esto incluye los botes de 5 litros, el embudo, el colador, el contenedor de 200 litros y el área en la que se encuentra el contenedor.

9. Conclusiones

Durante la evaluación del sistema de recolección de ACU para generar biodiesel se obtuvieron las siguientes conclusiones.

Un sistema de recolección de ACU brinda beneficios económicos, sociales y ambientales. Los beneficios económicos se obtienen al tener un ahorro en el costo del combustible para el transporte público RTP y promover la producción de servicios y productos.

Los beneficios sociales son los que se obtienen al generar empleos durante el proceso de recolección y transformación, así como promover una mejor calidad de vida al reducir los impactos ambientales.

Los beneficios ambientales se logran al reducir las emisiones de GEI generadas por el transporte público RTP, así como reducir los problemas causados por el mal manejo del ACU, tales como la generación de plagas e inundaciones a causa de drenajes obstruidos por la saponificación del ACU y lixiviados en rellenos sanitarios que contaminen mantos acuíferos.

Al reutilizar el ACU se promueve la cultura del reciclaje y su reúso por medio de una estrategia para generar biodiesel que no compite con la seguridad alimentaria.

Al conocer los diferentes sistemas de recolección de ACU del mundo, se puede notar que la mayoría de estos son voluntarios y el mayor esfuerzo lo realiza la compañía recolectora.

El potencial de uso de ACU en el DF para producir biodiesel a partir del total de ventas de aceite de cocina a nivel nacional y de las 48 encuestas realizadas a restaurantes del DF, dio como resultado:

- Consumo per cápita de aceite vegetal: de 9.95 l/año con una desviación estándar de 3.24 l/año
- ACU disponible para generar biodiesel: 27.96 millones de litros al año
- Biodiesel disponible a partir de ACU: 26.56 millones de litros al año

Los resultados mostrados anteriormente sirvieron para dar base al siguiente estudio sobre el potencial de producción de biodiesel de los mercados de la delegación Cuauhtémoc y desarrollar el sistema de recolección de ACU.

Al evaluar el potencial de biodiesel a partir de ACU en los mercados de la delegación Cuauhtémoc se llegó a los siguientes resultados:

A partir de las 48 encuestas realizadas a restaurantes con servicio completo y de autoservicio con servicios limitados en el Distrito Federal se estimó

- Un potencial de producción de 785 ± 255 mil litros de biodiesel al año a partir del ACU de los mercados de la delegación Cuauhtémoc.
- El biodiesel puede ser utilizado por 100 camiones de RTP durante un año utilizando una mezcla B20
- Al utilizar la mezcla B20 se obtiene una disminución de GEI
 - 95.84 toneladas al año de CO_2 por autobús de RTP
 - 0.02 toneladas al año de PM por autobús de RTP
 - 1.05 toneladas al año de NO_x por autobús de RTP
 - 0.47 toneladas al año de CO por autobús de RTP
- Un ahorro de 785 ± 255 mil litros de diésel convencional al año como recurso no renovable.

La disminución de GEI es considerable para contaminación del aire en la Ciudad de México. Se esperaría que en un futuro el sistema de recolección de ACU para generar biodiesel pueda implantarse en todas las delegaciones del Distrito Federal y se pueda expandir a todo el país con el fin de reducir la contaminación ambiental que implica la quema de diésel y el mal manejo del ACU.

El potencial de producción de biodiesel en los mercados de la delegación Cuauhtémoc representa el 2.45% del total del potencial de producción de biodiesel a partir de ACU en el Distrito Federal. Esto constituye un nicho para cualquier inversionista interesado en el desarrollo de energías alternas.

Los costos estimados para la implementación del sistema de recolección de ACU y la producción de biodiesel resultaron ser los mostrados a continuación.

Los costos involucrados en el diseño y capacitación del sistema de recolección son:

- Costos del personal: \$37,600.00 mensuales
- Costos del material: \$7,277.00 durante todo el proyecto.

Los costos de operación de la empresa para producir biodiesel son:

- Costo anual de operación: \$703,538.94

- Costo anual para la producción de biodiesel con inversión: \$2,589,634.54
- Costo anual para la producción de biodiesel sin inversión: \$2,024,739.20

A partir del análisis de los costos que genera la recolección del ACU y su transformación a biodiesel, se concluyó que el precio por producción de un litro de biodiesel es:

- Con una inversión inicial² para establecer una planta de biodiesel nueva es de \$10.38 con del cual se puede obtener una utilidad máxima del 10% + IVA para permanecer en un precio competitivo comparado con el precio de venta del diésel convencional.
- Sin inversión inicial con una planta ya establecida es de \$8.11 del cual se puede obtener una utilidad máxima del 40% + IVA para permanecer en un precio competitivo comparado con el precio de venta del diésel convencional.

El implementar un sistema de recolección de ACU para producir biodiesel es costoso por lo que se necesita tener un plan bien fundamentado y contar con las dependencias involucradas para tener éxito durante su diseño, desarrollo y funcionamiento.

Un sistema de recolección de ACU para generar biodiesel no es sencillo, durante la operación del proyecto se encontraron varias áreas de oportunidad que deberán de mejorar, en particular las relacionadas con el manejo, almacenaje y recolección del ACU. Por lo que el funcionamiento del sistema de recolección no es el óptimo y habría que mejorarlo.

Se espera que a partir de las siguientes propuestas de mejora el funcionamiento del sistema de recolección aumente su eficiencia de operación al reducir los tiempos y reprocesos.

- Romper los paradigmas de los involucrados
- Proporcionar herramientas (colador, botes graduados, embudo, etc.) y manuales de manejo, almacenaje y transporte del ACU para la estandarización y el buen funcionamiento del sistema de recolección de ACU.
- Acordar calendarios de limpieza y recolección

² La inversión inicial no considera la compra ni renta del terreno, pero la renta está considerada dentro de los costos de producción

- Presentar plantillas para verificar y prevenir errores en la toma de datos durante todo el proceso.

El presente trabajo demostró que un sistema de recolección de ACU es totalmente factible y funcional.

La aportación de esta tesis desde la ingeniería ha sido:

La evaluación, diseño y desarrollo que conlleva un sistema de recolección de ACU proveniente de mercados de la delegación Cuauhtémoc para generar biodiesel planteando como idea general el uso de combustibles menos contaminantes y provenientes de fuentes renovables en autobuses de transporte público, Las propuestas de mejora para lograr la calidad en el servicio de recolección del ACU. Durante dicha evaluación se plantean soluciones a los problemas ambientales que puede enfrentar una ciudad tales como la contaminación del aire, la contaminación de las aguas y problemas de drenaje.

Las nuevas líneas de investigación serían:

- La expansión y desarrollo de un sistema de recolección de ACU a todo el DF.
- La factibilidad de expansión y desarrollo de un sistema de recolección de ACU a los hogares.
- La expansión y desarrollo de un sistema de recolección de ACU a todo el país.
- Desarrollar nuevas plantas de biodiesel para poder satisfacer la demanda del país del biocombustible.
- Biodiesel a partir de ACU para utilizarlo en transporte privado.

Índice de Figuras

Figura 3.1 Proceso de transformación de aceite vegetal en biodiesel por transesterificación.....	18
Figura 3.2 Comparación de la potencia y eficiencia del diesel y el biodiesel	20
Figura 3.3 Esquema de transformación de aceite de cocina usado en biodiesel	23
Figura 5.1 Ventas de aceite en México	35
Figura 5.2 Comensales diarios por restaurante.....	40
Figura 5.3 Consumo de aceite mensual por comensal en cadenas de restaurantes.....	40
Figura 7.1 Participantes del proyecto de recolección de ACU	52
Figura 8.1 9 Desperdicios	69
Figura 8.2 Proceso de Recolección de ACU	72
Figura 8.3 Value Stream Map (VSM) Descripción de simbología	77
Figura 8.4 Value Stream Map (VSM) Flujo Actual	79
Figura 8.5 Cursograma analítico del proceso actual	81
Figura 8.6 Value Stream Map (VSM) Flujo propuesto	82
Figura 8.7 Cursograma analítico proceso propuesto	83
Figura 8.8 Plantilla de Registro de Aceite de cocina usado	89

Índice de Tablas

Tabla 3.1 Comparación entre las propiedades del Biodiesel y Diésel.....	16
Tabla 4.1 Sistemas de recolección de aceite de cocina usado para producir Biodiesel en diversas regiones del mundo	31
Tabla 5.1. Ventas de aceite vegetal y grasa animal en México	35
Tabla 5.2 Población nacional y del Distrito Federal (millones de habitantes a mitad del año)	36
Tabla 5.3 Estimación del consumo de aceite en el Distrito Federal a partir de ventas nacionales (millones de litros)	36
Tabla 5.4 Restaurantes con servicio completo y de autoservicio con servicios limitados en el Distrito Federal	37
Tabla 5.5 Desviación estándar con su correlación al PIB	38
Tabla 5.6 Cadenas de restaurantes encuestadas.....	39
Tabla 5.7 Consumo de aceite en cadenas de restaurantes en el Distrito Federal	41
Tabla 5.8 Estimación de la disponibilidad de ACU en el D.F.....	42
Tabla 5.9 Estimación del potencial de producción de biodiesel en el D.F.....	42
Tabla 6.1 Rendimiento y recorrido de autobuses de RTP	44
Tabla 6.2 Uso de Biodiesel por autobús.....	45
Tabla 6.3 Total de autobuses que podrían operar con el biodiesel producido	45
Tabla 6.4 Factores de Emisión autobuses RTP con tecnología EPA-04	46
Tabla 6.5 Emisiones totales al año al utilizar mezcla diésel-biodiesel en un autobús tecnología EPA-04	47
Tabla 6.6 Porcentaje de Reducción de emisiones al utilizar mezcla diésel-biodiesel	47
Tabla 6.7 Consumo de energía durante la producción de biodiesel y sus emisiones de CO ₂	48
Tabla 6.8 Emisiones de CO ₂ al año al utilizar biodiesel	49
Tabla 6.9 Reducción de emisiones de CO ₂ al utilizar biodiesel.....	49
Tabla 7.1 Total de mercados en la delegación Cuauhtémoc	54
Tabla 7.2 Consumo de aceite vegetal en mercados de la delegación Cuauhtémoc.....	55
Tabla 7.3 Disponibilidad de ACU en mercados de la delegación Cuauhtémoc.....	55

Tabla 7.4 Potencial de Biodiesel a partir de ACU de los mercados de la delegación Cuauhtémoc.....	56
Tabla 7.5 Autobuses de RTP factibles de utilizar biodiesel de ACU de mercados de la delegación Cuauhtémoc	56
Tabla 7.6 Emisiones estimadas por la utilización del ACU obtenido en mercados de la delegación Cuauhtémoc	57
Tabla 7.7 Emisiones de CO₂ estimadas por la utilización de ACU obtenido en mercados de la delegación Cuauhtémoc	57
Tabla 7.8 Emisiones evitadas por autobús al año.....	57
Tabla 7.9 Costos del personal	58
Tabla 7.10 Costos del material	59
Tabla 7.11 Pago de Anualidad del Financiamiento.....	60
Tabla 7.12 Tarifa de CFE por consumo de Energía.....	61
Tabla 7.13 Costos anuales de operación.....	62
Tabla 7.14 Costos totales anuales para la producción de biodiesel con financiamiento	64
Tabla 7.15 Costo por litro de biodiesel producido con inversión	65
Tabla 7.16 Costo por litro de biodiesel producido sin inversión	66
Tabla 7.17 Punto de Equilibrio	67
Tabla 8.1 Diagnóstico 9 Desperdicios	75

Acrónimos

Siglas

ASTM
ACU
CO
CO2
CONAPO
INEGI

Kg
DENUE

IPCC

MI
Mkg
NOx
PM
TJ

Significado

American Society for Testing and Materials
Aceite de cocina usado
Monóxido de carbono
Dióxido de carbono
Consejo Nacional de Población
Instituto Nacional de Estadística y Geografía
Kilogramos
Directorio de Estadística Nacional de Unidades Económicas
Intergovernmental Panel on Climate Change
Millones de litros
Millones de Kilogramos
Óxidos de nitrógeno
Partículas (del inglés Particulate Matter)
Tera Joules

Anexos

Anexo I. Encuesta sobre el consumo de aceite en restaurantes con servicio completo y de autoservicio con servicios limitados en el Distrito Federal

A. CONSUMO.

1. ¿Con qué frecuencia compran aceite de cocina?

____ (s) semanalmente ____ (q) quincenalmente ____ (m) mensualmente.

2. ¿Cuánto compran? _____ (litros/___).

3. ¿Llevan algún registro anual de las **compras** de aceite?

¿Podría facilitar ese registro? Sí NO

4. ¿Cuántos **comensales** asisten al restaurante por día? _____

5. ¿Llevan algún registro anual del número de **comensales**?

¿Podría facilitar ese registro? Sí NO

B. RESIDUOS.

6. ¿Cuánto aceite residual genera el retaurante por semana? _____
(litros).

9. ¿Qué hacen con el aceite residual?

____ Venta ¿A qué precio lo venden? _____ (pesos / litro).

____ Desecho

C. DATOS GENERALES.

7. Nombre del restaurante

8. Ubicación: Calle _____ Colonia

_____ Delegación

Responsable de la encuesta: _____ Fecha: ___/___/___

Anexo II. Composición de la flota de autobuses RTP



Red de Transporte de Pasajeros del Distrito Federal
 Dirección General
 Dirección de Desarrollo Tecnológico y Mantenimiento
 Gerencia de Mantenimiento
CONFORMACIÓN DEL PARQUE VEHICULAR

FECHA
 06 / NOV / 2013
 NIVEL
 Por Módulo v Tipo

TIPO AUTOBÚS	TIPO			CANTIDAD POR MÓDULO								TOTAL DE AUTOBUSES	MODELO
	Motor	Trans.	Difer.	03	08	09	12	15	23	34			
TRANSPORTE ESCOLAR	DT-466 HIDROFORCE	FULLER FS- SYNCR 5-5PD	9 / 39	24	21	3	15	31	11			105	2009 EPA 04
SUB TOTAL				24	21	3	15	31	11	0	0	105	
HYUNDAI	C6AB GNC	MANUAL MBS5 54REV	8 / 39					30				30	2011 EURO V
AYCO 3000 RE	DT-466E	B-300R	6 / 37	28	118					28		174	2001 EURO III
AYCO DISCAP.	DT-466E	B-300R	6 / 37	10	13							23	2001 EURO III
AYCO 30030 RE	DT-466E	B-300R	6 / 37	34	47		3	1	7	2		94	2002 EURO III
AYCO 30030 SUSP. DEL. MEC.	DT-466E	B-300	6 / 37	4	14		1		69	3		91	2002 EURO III
RECO 4700 SFC	DT-466E	B-300R	6 / 37	16	21						39	76	2001 EURO III
RECO DISCAP.	DT-466E	B-300R	6 / 37		2						7	9	2001 EURO III
TORINO 2002	OM-906LA	B-300	6 / 37	14	5	1	128		7			155	2002 EURO III
TORINO 2004	OM-906LA	B-300	6 / 37		5	90			8			103	2004 EURO III
TORINO 2006	OM-906LA	B-300	7 / 43	11	10	29		122	6	42		220	2006 EURO III
TORINO 2006 EQUIP.	OM-906LA	B-300	7 / 43	3		7	10					20	2006 EURO III
TORINO 2009	OM-906LA	B-300R	8 / 45	5	22	10	12		13	8		70	2009 EPA 04
TORINO 2009 EQUIPADO	OM-906LA	B-300R	8 / 45	2	14	3	5		27	24		75	2009 EPA 04
SUB TOTAL				127	271	140	159	153	165	125	0	1140	
SCANIA COMIL	DC9	ZF 6HP	8 / 39					5	15			20	2005 EURO III
SCANIA SAN MARINO	DC9	ZF 6HP	8 / 39					10				10	2006 EURO III
M-B GRAN VIALE	OM457LA	ZF 6HP	15/09					12				12	2008 EURO III
VOLVO ARTICULADO	DH 12	Voith diwa 864.3	5 / 36				5		4			9	2009 EURO IV
VOLVO BIARTICULADO	DH 12	ZF 602HP	5 / 36						12			12	2009 EURO IV
SUB TOTAL				0	0	0	5	27	31	0	0	63	
GRAN TOTAL				151	292	143	179	211	207	125	0	1308	

Anexo III. Costos asociados al proceso de producción (fragmento tomado de la tesis de Ramírez 2013)

3.3.3 Costos Asociados al proceso de producción

3.3.3.1 Descripción de los costos

1. Inversión

Como toda planta industrial, se requiere llevar a cabo la instalación de una infraestructura y compra de equipos especiales. Para esta planta se requirió la compra de 3 vehículos para la recolección del aceite, instalación de varias bombas eléctricas, un reactor, un tanque tolva, tuberías y mangueras para el manejo y traslado del aceite. Además se requirió de un pequeño laboratorio y con éste, la compra de instrumentos de medición, equipo de protección para los operadores, por mencionar lo más importante. El diseño de la instalación se adecuó a la capacidad de conversión de aceite diaria que para la planta varía de 600 a 1200 litros, aunque puede ampliarse con pocos requerimientos económicos y técnicos en algún momento dado.

Se estima que la inversión inicial para la puesta de la planta es de \$1,391,811.14.

Biofuels de México S.A. de C.V.

Fuentes

A., C. I. (2012). *Potencial de uso de biodiesel en México a partir de aceite comestible usado*. Ciudad de México. México: Tesis de licenciatura, carrera de física, Facultad de Ciencias. UNAM.

AISLINN. (2014). Recuperado 2014, Disponible en: http://www.aislinn.com.mx/product_info.php?products_id=220

ASTM. (2014). *Standard specification for diesel fuel oil, biodiesel blend (B6 to B20)*. Recuperado 2014, Disponible en: ASTM International: <http://www.astm.org/Standards/D7467.htm>

ASTM, I. (2013). *Normas de Biodiesel*. Recuperado Disponible en: <http://www.astm.org/Standards/D7467.htm>

Baca, G. (2001). *Evaluación de Proyectos*. México D.F.: McGrawHill.

Badii, M., Castillo, J., & Guillen, A. (2008). *Tamaño óptimo de la muestra*. San Nicolás: Innovaciones de Negocios UANL.

Biodisol. (2014). *La producción del biodiesel*. Recuperado Marzo 6, 2013, Disponible en: <http://www.biodisol.com/biodiesel-que-es-el-biodiesel-definicion-de-biodiesel-materias-primas-mas-comunes/la-produccion-de-biodiesel-materias-primas-procesos-calidad/>

CONAPO. (2014). *Proyecciones de la población*. Recuperado 2014, Disponible en: <http://www.conapo.gob.mx/es/CONAPO/Proyecciones>

Demirbas, A. (2002). *Biodiesel from vegetable oils via transterification in supercritical methanol*. *Energy Convers Manage* 43 (17): 2349 - 2356.

DENUE. (2014). *Instituto Nacional de Estadística y Geografía*. Recuperado 2014, Disponible en: Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas: <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/mapa/denue/default.aspx>

European Commission (2002). *no. 1774/2002 of the European Parliament and the Council*. Recuperado Disponible en: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CONSLEG:2002R1774:20070724:EN:PDF>

Gabriel Rodriguez, M. R. (2013). *Estudio comparado entre el combustible diésel y biodiesel*. Argentina: Instituto Nacional de Tecnología Industrial .

García Criollo, Roberto (2002) *Introducción al estudio del trabajo*. México: McGrawHill

Gómez, M. U. (2010). *Simulación de una planta piloto para la producción de biodiesel en el laboratorio de operaciones unitarias de la ESIQIE*. D.F.: Instituto Politécnico Nacional.

Guerrero, V. M. (2009). *Medición de la tendencia y el ciclo de una serie de tiempo económica desde una perspectiva estadística*. DF: INEGI.

Gui, M., Lee, K., & Bhatia, S. (2008). *Feasibility of edible oil vs non-edible oil vs waste edible oil as biodiesel feedstock*. Energy 33.

Hilber, I. A. (2001, Noviembre). *Estudios de redimensionamiento comparativo Gasoil - Biodiesel B100 B20*. INTA. Buenos Aires: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria .

INECC. (2014). *Zona Metropolitana del Valle de México* . DF.

INEGI. (Manufactura. Aceites vegetales y comestibles). Recuperado 2014, Disponible en: Banco de información económica: <http://www.inegi.org.mx/sistemas/bie/#D1040010001420010002000600030>

International Energy Agency (IEA). (2012a). *CO2 emissions Disponible en: fuel combustion highlights*. Paris, Francia: 2012 Edition.

International Energy Agency (IEA). (2012b). *Key World Energy Statistics*. Paris Francia.

International Energy Agency (IEA). (2013). *Pathways to a clean energy system*. Paris, Francia: Energy Technology Perspective 2012.

- IPCC. (2006). *Directrices del IPCC 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero*.
- IPCC. (2011). *Renewable energy sources and climate change mitigation*.
- Janaun, J., & ellis, N. (2010). *Perspectie of biodiesel as a sustainable fuel*. Renewable and sustanaible energy revies.
- Kalam, M., Masjuki, H., Jayed, M., & Liaquat, A. (2011). *Emission and performan characteristics of an indirect ignition diesel engine fuelled with waste cooking oil*. Energy.
- King, D. (2010). *The future of industrial biorefieneries*. Geneva, Switzerland: World Economic Forum.
- National Academies. (2009). *Liquid transportation fuels Disponible en: coal and biomass technological status, costs, and enviromental impacts, reports in brief*. US: National Academies America's Energy Future Initiative. US The National Academy of Science.
- OECD. (2007). *Biofuels for transport Policies and possibilities*. Recuperado Disponible en: <http://www.oecd.org/agriculture/39718027.pdf>
- Pérez, P., Gusberi, P., & Gallardo, A. (2009). *Producción de biodiesel a partir de aceites usados de docina a escala piloto en la provincia de Mendoza*. Mendoza: Avances en energías renovables y medio ambiente.
- Ramírez Suárez, M. E. (2013) *Potencial técnico y económico del uso de biodiesel a partir de aceite comestible usado en México*. México. DF: UNAM
- Red de Transporte de Pasajeros, RTP (2014). *Composición de la flota vehicular*. DF.
- Romano, S. D., & Sorichetti, P. A. (2003). *Obtención y Caracterización de biodiesel*. Buenos Aires: UBA.
- Sanborns. (2013). *Tasa de recuperación de aceite de cocina usado*. DF.

- Searchinger, T., Heimlich, R., Houghton, R., Dong, F., Elobeid, A., Fabiosa, J., *et al.* (2008). *Use of Us corplands for biofuels increases greenhouse and gases through emissions Disponible en: land-use change.* Science 319 (5867): 1238-1240.
- Sheinbaum Pardo, C. (2013). *Evaluación de emisiones contaminantes de biodiesel en el transporte público de pasajeros de la ciudad de México.* DF: Intituto de Ingerniería UNAM.
- Sheinbaum Pardo, C., Calderón Irazoque, A., & Ramírez Suárez, M. (2013). *Potential of biodiesel fromwaste cooking oil in Mexico.* DF: Elsevier.
- Suárez, M. R. (2013). *Potencial técnico y económico del uso de biodiesel a paritr de aceite usado en México.* DF: UNAM.
- Tecnología, A. y. (2014). Recuperado 2014, Disponible en: <http://avanceytec.com.mx/productos/cajas-envases-y-gavetas-de-plastico/tambos-rectangulares/>
- Thamsiroj, T., & Murphy, J. (2010). *How much of the target for biofuels can be met by biodiesel generated Disponible en: residues in Ireland?* Fuel.
- Tilman, D., Socolow, R., J., A. F., Hill, J., Larson, E., Lynd, L., *et al.* (2009). *Beneficial bioduels - the food, energy and enviroment trilemma.* Science 325 (5938): 178.
- Tocantis, T. (2014). Recuperado 2014, Disponible en: <http://tamborariatocantins.com.br/?product=bombona-200-litros>
- Toda, M., Takagaki, A., Okamura, M., Kondo, J., Hayashi, S., Domen, K., *et al.* (2005). *Green chemistry - biodisel made with sugar catalyst.* Nature 438 (7065): 178.
- Utensilios para cocina. (2014). Recuperado 2014, Disponible en: <http://www.utensiliosparacocina.com/colador-iris-inox-minox-p-771.html>

- Williams, J., Clarkson, C., Mant, C., Drinkwater, A., & May, E. (2013). *Fat, oil and grease deposits in sewers: Characterisation of deposits and formation mechanisms*. UK: Elsevier.
- Yasin, M. H., Mamat, R., Yuspo, A. F., Rahim, R., Aziz, A., & Shah, L. A. (2013). *fuel physical characteristics of biodiesel blend fuels with alcohol as additives*. Pahang: Elsevier.
- Zabeti, m., Wan, D., Mohd, A., & Aroua, M. (2009). *Activity of solid catalysts for biodiesel production: a reviw*. Fuel Process Technol.
- Zhang, Y., Dubé, M. A., McLean, D., & Kates, M. (2003). *Biodiesel production Disponible en: watse cooking oil: 1. Process design and technological assessment*. Ottawa: Elsevier.
- Zurita, A. P. (2012). *Manual de apoyo para la capacitación en Lean Manufacturing*. DF: UNAM.