



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLÁN**

**INVESTIGACION BIBLIOGRÁFICA SOBRE EL
ESTADO ACTUAL PARA LA OBTENCIÓN DE
BIODIESEL MEDIANTE LA CAPTACIÓN Y
TRATAMIENTO DE GRASAS POST CONSUMO.**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO
DE:**

INGENIERO QUÍMICO

P R E S E N T A:

DIEGO JACINTO NAVARRO

**DIRECTOR DE TESIS:
I.Q. AARÓN BARRIOS CAMACHO**

CUAUTITLAN IZCALLI ESTADO DE MÉXICO 2017



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

Al Ing. Aarón Barrios Camacho: Por haber confiado en mí y haberme apoyado durante el desarrollo de este trabajo de tesis.

A mis padres: Por brindarme su apoyo incondicional durante toda mi vida y por ser mi ejemplo a seguir, gracias por haberme enseñado que las cosas siempre se tienen que hacer con entusiasmo, respeto, integridad y sobre todo con honestidad.

A mi abuelita Martha: Por haber cuidado de mis hermanos y de mí durante nuestra infancia siendo un pilar importante en nuestras vidas y por enseñarme que a pesar de todas las adversidades y lo difícil que puedan parecer las cosas siempre se puede salir adelante.

A mis hermanos: Ya que sin ellos no sería la persona que soy en este momento, gracias por haber estado a mi lado durante mi vida y a pesar de que no siempre he sido muy afectivo con ellos, los tengo muy presentes en mi vida.

A mis amigos y seres queridos: A Jairo, Jordy y en especial a Luis Flores por haber sido las personas con las cuales conviví el mayor tiempo durante mi estancia universitaria y haber vivido experiencias inolvidables a su lado, por último y no menos importante, quiero agradecer a Tania Daniela Bucio por apoyarme durante el desarrollo de este trabajo de tesis y por todo el cariño que me ha brindado.

ÍNDICE

Índice de tablas.....	i
Introducción.....	ii
Objetivos del proyecto.....	iii
Justificación.....	iv
Capítulo I Clasificación y tratamiento de residuos	
1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Clasificación de los residuos.....	2
1.3 Métodos para el tratamiento de residuos.....	5
1.4 Problemática ambiental actual.....	8
Capítulo II Normas que regulan el proceso de almacenamiento y tratamiento de combustibles.	
2.1 Antecedentes.....	17
2.2 Organismos encargados de regular el proceso.....	18
2.3 Normatividad.....	21
2.4 Sanciones por incumplimiento normativo.....	25
Capítulo III Industria del biodiesel en México	
3.1 Producción de biodiesel en México.....	27
3.2 Propuesta para la implementación de una empresa de biodiesel.....	29
3.3 Estimación de los desechos generados en la zona de estudio.....	33
Capítulo IV Planta de tratamiento	
4.1 Fundamentos de operación.....	34
4.1.1 Descripción de biocombustible.....	34
4.1.2 Procesos físicos, químicos y térmicos.....	37
4.1.3 Subproductos comerciales.....	42
4.2 Procesos industriales para la producción de biodiesel.....	43
4.3 Clasificación de procesos para la producción de biodiesel.....	44
4.3.1 Procesamiento por lotes.....	44
4.3.2 Procesamiento continuo.....	45
4.4 Etapas del proceso.....	48
4.5 Planta piloto implementándose en Baja California.....	51
4.6 Características del producto final.....	54
Capítulo V Impacto ambiental	
5.1 Emisiones de contaminantes generados por el biodiesel.....	56
5.2 Comparación de emisiones, combustible fósil vs biodiesel.....	57
5.3 Repercusión ambiental.....	60
Conclusiones.....	62
Glosario.....	63
Bibliografía.....	64

Índice de Tablas

Tabla 1.1 Procesos para el tratamiento de residuos sólidos.

Tabla 3.1 Proyectos para la producción de insumos energéticos en México.

Tabla 3.2 Distribución de la población de B.C.

Tabla 3.3 Población económicamente activa de B.C.

Tabla 4.1 Propiedades físicas de los ácidos grasos saturados e insaturados presentes en los triglicéridos de aceites y grasas naturales.

Tabla 4.2 Principales características del procesamiento por lotes y sistemas continuo.

Tabla 4.3 Principales características del procesamiento por lotes.

Tabla 5.1 Emisiones generadas por el biodiesel.

Tabla 5.2 Variaciones de las emisiones contaminantes el biodiesel respecto al diesel convencional.

Índice de Figuras

Figura 1.1: Características del medio ambiente y medidas de protección.

Figura 1.2 Generación de residuos sólidos urbanos por entidad en México, 2011.

Figura 1.3 Generación de residuos sólidos urbanos anual en México, 2013.

Figura 1.4 Generación de RSU per cápita anual, 2013.

Figura 1.5 Composición de los RSU por su tipo de residuo, 2012.

Figura 3.1 Esquema de la zona Baja California.

Figura 3.2 Características educativas en Baja California.

Figura 4.1 Esquema general de la reacción de transesterificación de aceites vegetales (Mota, 2007).

Figura 4.2 Reacción de transesterificación utilizando etanol.

Figura 4.3 Proceso de reacción en un reactor Batch.

Figura 4.4 Sistema de reacción de flujo continuo.

Figura 4.5 Proceso general para la obtención de biodiesel.

Figura 4.6 Reacción de transesterificación empleando etanol.

Figura 4.7 Equipo para la producción de biodiesel MB 400

Introducción

Una de las mayores problemáticas que actualmente sufre nuestro medio ambiente es la generación de residuos destinados a ser desechados. Todas las actividades humanas, cualquiera que sea su campo de acción, agrícola, ganadero, forestal, industrial o urbano, generan residuos de muy diversa índole y naturaleza.

En función de estas características será diferente el tratamiento, la gestión de tratamiento y/o almacenamiento de los diversos residuos, dando lugar a una serie de infraestructuras y mecanismos destinados a evitar o ampliar el deterioro ambiental.

En la sociedad moderna la concentración de las personas en las ciudades, la creación de las zonas industriales y la agricultura desmedida, aumentaron notablemente la generación de residuos. Como solución al problema se decidió ocultar los residuos colocándolos fuera del entorno cercano a las poblaciones o incluso enterrándolos, debido al constante aumento y a lo ineficiente de este sistema se empezaron a contemplar otras soluciones.

La maximización del aprovechamiento de los residuos generados y en consecuencia la minimización de los desechos, contribuye a conservar y reducir la demanda de recursos naturales, disminuir el consumo de energía, preservar los sitios de disposición final y reducir sus costos, así como a reducir la contaminación ambiental al disminuir la cantidad de residuos que van a los sitios de disposición final o que simplemente son dispuestos en cualquier sitio contaminando el ambiente.

El proceso debe realizarse siempre y cuando sea económicamente viable, técnicamente factible y ambientalmente conveniente.

Los residuos orgánicos suponen un gran porcentaje de la basura procedente de los domicilios particulares, comercios, oficinas y servicios que va a parar a los vertederos, dichos residuos son clasificados como “residuos sólidos urbanos”.

Es por esto que en este trabajo de tesis se mostrará como podemos reutilizar los desechos orgánicos como lo son las grasas residuales para la generación de un biocombustible y el manejo que este tipo de residuos deben llevar para poderse transformar así como las restricciones que el proceso requiere, también presentaremos los requerimientos para el diseño y montaje de una planta de desechos orgánicos así como la normatividad para el tratamiento y manejo de desechos.

Tan solo en México más del 50% de los RSU que se generan corresponden a materia orgánica teniendo como disposición final los vertederos, sin recibir tratamiento alguno. Según datos proporcionados por el INEGI esta cantidad asciende a más de 20 millones de toneladas anuales y va en aumento año con año.

Con el desarrollo de las nuevas tecnologías, la necesidad preponderante de reducir los niveles de contaminación y la escasez de los hidrocarburos surge la necesidad de crear nuevas alternativas en el sector energético enfocado a generar nuevas fuentes de energía limpia, partiendo de esta premisa la generación de biocombustible mediante el procesamiento de materia orgánica como lo son las grasas residuales se vuelve una alternativa en la cual se debe apostar con mayor fuerza ya que se aprovecha una materia que hasta el momento se consideraba como un desecho y da pauta a combatir dos de los principales problemas que acusan a nuestro planeta, la contaminación ambiental y la escasez de energéticos amigables con el medio ambiente.

Por ello el presente documento tiene como finalidad proporcionar una alternativa sustentable y económicamente viable, para generar un energético amigable con el medio ambiente y que al mismo tiempo contribuya a reducir los niveles de contaminantes que se generan en el día a día, empleando la ingeniería como herramienta de cambio mediante el desarrollo de un trabajo de investigación enfocado a el proceso de obtención de biodiesel mediante la captación y tratamiento de grasas residuales.

Objetivos del Proyecto

- General

Desarrollo de una investigación bibliográfica sobre la obtención de biodiesel a partir del tratamiento de aceite post consumo, de manera conjunta al estudio de una planta de tratamiento en funcionamiento, con el propósito de generar una alternativa económica y rentable.

- Particulares

Que el trabajo de investigación permita:

1. Analizar las características de la zona en la cual se está implementando una planta piloto para producción de biodiesel en Baja California, para determinar las ventajas y desventajas que está nos proporciona.
2. Análisis de los principios de operación de una planta de tratamiento de residuos de aceite post consumo con el fin de entender y ejemplificar los procesos involucrados en la elaboración del biodiesel.
3. Desarrollo de las etapas que involucra el proceso de producción de biodiesel mediante aceite post consumo, identificando las etapas fundamentales que intervienen en el proceso.
4. Realizar un análisis comparativo entre el impacto ambiental generado por el biodiesel y un combustible fósil, mediante datos teóricos, para determinar las ventajas y/o desventajas del uso de combustibles biológicos.

Capítulo I
Clasificación y Tratamientos Principales de Residuos

Capítulo I Clasificación y tratamientos principales de residuos

1.1 Antecedentes

Los residuos generados por la intervención del hombre se han convertido en un factor que nos afecta a todos, esto debido a su desmedida generación y el desinterés que se tiene por parte de la sociedad que los produce. Estos residuos están constituidos en su mayoría por desechos orgánicos los cuales son tan comunes y de gran importancia en varios aspectos, estos residuos deben ser clasificados e identificados para poder ser reutilizados o regresados al medio y así generarlos en nuevos productos que sean útiles para el ser humano y al mismo tiempo ayuden a mantener un equilibrio ambiental.

Se considera basura orgánica a todo desecho de origen biológico. Tal es el caso de los restos de frutas o verduras, estiércol, ramas, hojas, cascaras, productos agrícolas, huesos, fibras naturales, madera, frutos en descomposición, restos de alimentos, entre otros. Estos residuos orgánicos presentan una característica fundamental, son biodegradables, se pueden descomponer por el medio ambiente en un lapso de tiempo relativamente corto y son reincorporados a él.

De acuerdo a esta característica podemos definir a un residuo orgánico como, el material de origen biológico que puede biodegradarse o transformarse en sustancias útiles para el hombre y el medio ambiente, mediante la acción de los microorganismos del suelo. Es importante mencionar que existen algunas otras denominaciones para estos residuos, a los cuales también se les llama degradables ya que se pueden descomponer en unidades químicas y físicas más simples

La mayor parte de los residuos que generamos son depositados en terrenos, barrancos, ríos, arroyos, basureros a cielo abierto, o en el mejor de los casos en rellenos sanitarios, sin que exista un aprovechamiento racional o reciclaje sistemático de los mismos. Además, se debe hacer hincapié de que estos residuos en condiciones inapropiadas como sucede en estos sitios, pueden ser atrayentes de plagas y enfermedades que puedan afectar al hombre. Así pues la descomposición anaerobia principalmente que se da en estos lugares, por la manera en la que se encuentran almacenados, pueden provocar la producción de gases y sustancias de olores penetrantes. Existen evidencias que demuestran que la materia orgánica cuando es acumulada en grandes volúmenes no puede descomponerse y transformarse naturalmente por lo que permanece inalterada por mucho tiempo.

Por otro lado, cada año se pierden por erosión en todo el mundo unos 24,000 millones de toneladas de la capa superior de suelo. Así mismo, la población mundial continúa creciendo y demandando más alimentos. Y aunque los sistemas modernos proponen fertilizantes químicos, usar pesticidas y acelerar las investigaciones en la ingeniería genética para mantener satisfecha a la población; si no se devuelve a la tierra todos los nutrientes que pierde cada año, la hambruna será más común alrededor del mundo.

Es por estas razones que resulta imprescindible el aprovechar estos residuos como una fuente de beneficios para el hombre y su medio, y no como un material estorbo. Igualmente se deben de emplear los métodos de tratamiento más convenientes para cada sociedad de acuerdo a sus características políticas y socioeconómicas e interactuar de manera conjunta con todos los sectores de la población.

La mayoría del biodiesel producido en el mundo es proveniente de aceites vegetales principalmente del aceite de colza en Europa y Canadá, y aceite de soya en Estados Unidos.

Es destacable la obtención de biodiesel a partir de materias primas alternativas, como los residuos grasos animales y aceites de fritura usado, utilizadas principalmente en países como Canadá, México e Irlanda, estas son una materia prima ideal a bajo costo, ya que normalmente el biodiesel se obtiene de aceites vegetales de alto valor que representan cerca del 85% de los costos de producción. Cabe mencionar que las grasas animales son altamente viscosas y en su mayoría sólida a temperatura ambiente, debido a su alto contenido de ácidos grasos saturados, por lo que su uso como combustibles puede conducir a mala atomización del mismo, y en consecuencia una combustión incompleta. La transesterificación y la emulsificación son dos de las soluciones principales que han aparecido como métodos eficaces para el uso de grasas animales en el motor diesel.

Además, su índice de cetano alto y los valores de calefacción están cerca del combustible diesel, al igual que su contenido de oxígeno, que mejora la combustión con menor relación aire/combustible, así mismo se ha demostrado que existe una buena disponibilidad de estas materias primas, evitando los debates éticos de utilizar cultivos y tierras que se destinan para fines alimenticios.

1.2 Clasificación de los residuos

Según la definición establecida por la Ley General Para la Gestión Integral de los Residuos, se considera “residuo” a un material, producto cuyo propietario o poseedor desecha y que se encuentra en estado sólido o semisólido, es un líquido o gas contenido en recipientes o depósitos, y que puede ser susceptible de ser valorizado o requiere sujetarse a tratamiento o disposición final.

De acuerdo a la Ley General Para la Gestión Integral de los Residuos. Los residuos se clasifican en:

- Residuos peligrosos
- Residuos de manejo especial
- Residuos sólidos urbanos

Teniendo como principales características las siguientes;

Residuos peligrosos: Son aquellos que posean algunas de las características de corrosividad, reactividad, explosividad, toxicidad, inflamabilidad, o que contengan agentes infecciosos que les confieran peligrosidad; así como envases, recipientes, embalajes y suelos que hayan sido contaminados cuando se transfieran a otro sitio.

Residuos de manejo especial: Son aquellos generados en los procesos productivos, que no reúnen las características para ser considerados como peligrosos o como residuos sólidos urbanos, o que son producidos por grandes generadores de RSU.

Residuos sólidos Urbanos: Son los generados en las casas habitación, que resultan de la eliminación de los materiales que utilizan en sus actividades domésticas, de los productos que consumen y de sus envases, embalajes y empaques; los residuos que provienen de cualquier otra actividad dentro de establecimientos o en la vía pública que genere residuos con características domiciliarias y los resultantes de la limpieza.

El principal objetivo de la clasificación de los residuos es dar a conocer a los generadores el estado físico, las propiedades y las características inherentes de los residuos, dicha clasificación se lleva a cabo atendiendo a dichos aspectos, para que en función de sus volúmenes, formas de manejo y concentración, anticipen su comportamiento en el ambiente, la probabilidad de que ocasionen o puedan ocasionar efectos adversos a la salud y/o al ambiente.

La Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos establece listados, normas o instrumentos a través de los cuales se enuncian, identifican y determinan los residuos de acuerdo a su clasificación.³¹

La LGPGIR distingue tres tipos de generadores de residuos, en función del volumen anual que éstos generan y los define de la siguiente manera;

Gran generador: Persona física o moral que una cantidad igual o superior a diez toneladas en peso bruto total de residuos al año o su equivalente en otra unidad de medida.

Pequeño generador: Persona física o moral que una cantidad igual o mayor a cuatrocientos kilogramos y menor a diez toneladas en peso bruto total de residuos al año o su equivalente en otra unidad de medida.

Micro generador: Establecimiento industrial, comercial o de servicios que genere una cantidad de hasta cuatrocientos kilogramos de residuos al año o su equivalente en otra unidad de medida.

La SEMARNAT está facultada por la LGPGIR para agrupar y clasificar los diferentes tipos de residuos por categorías en inventarios con el propósito de elaborarlos para orientar la toma de decisiones con base en criterios de riesgo en su manejo.

Asimismo, establecerá la clasificación de los residuos de manejo especial y sólidos urbanos, sujetos a planes de manejo, de conformidad con los criterios que se establezcan en las NOM correspondientes, las cuales contendrán los listados de los mismos y cuya emisión estará a cargo de la propia SEMARNAT.³¹

Los gobiernos de las entidades federativas y municipios publicarán la relación de residuos de su competencia sujetos a planes de manejo y propondrán a la SEMARNAT, las subcategorías de residuos que deban agregarse a las citadas normas.

Existen otras formas de clasificación de los residuos sólidos orgánicos, sin embargo, los principales están relacionados con su fuente de generación, su naturaleza y/o características físicas.

Por su fuente de generación:

- Residuos agrícolas y ganaderos: Son los más abundantes, los más dispersos y los más difíciles de controlar. Constituyen uno de los principales focos de contaminación de las aguas subterráneas y superficiales así como de los suelos.
- Residuos forestales: Son los provenientes de las labores silvícolas, ramas, hojas, cortezas, serrines, virutas, raíces, etc. El control de estos residuos es de vital importancia para la disminución y el control de los incendios forestales, uno de los principales problemas ecológicos a nivel mundial.
- Residuos urbanos: Son los producidos por las personas durante el consumo o el transcurso de sus actividades diarias.
- Residuos industriales: Son los generados en la actividad industrial. Su naturaleza es muy variada tanto desde el punto de vista físico como químico. Entre estos se pueden distinguir.
 - a) Residuos asimilables a urbanos: Fundamentalmente, están constituidos por restos orgánicos procedentes de la alimentación, papel, cartón, plásticos, textiles, maderas, gomas, etc.
 - b) Residuos inertes: Se caracterizan por su inocuidad, estando constituidos por ciertos tipos de chatarras, vidrios, cenizas, escombros, refractarios, lodos inertes, etc. Al no poseer condiciones adversas al medio ambiente, son susceptibles a ser usados en obras públicas como relleno o en vertederos.
 - c) Residuos tóxicos y peligrosos: Son los materiales sólidos, pastosos, líquidos, así como gaseosos contenidos en recipientes, que siendo resultado de un proceso de producción, transformación, utilización o consumo, su productor destine al abandono y contengan en su composición alguna sustancia o materia que pueda poner en riesgo la salud humana, recursos naturales y medio ambiente y necesiten de un proceso de tratamiento o de eliminación especial.

Por sus características fisicoquímicas.

- Orgánicos: Son su mayor parte de origen vivo que pueden ser restos de animales, maderas, flores, alimentos, etc.
- Inorgánicos: Latas, vidrios, arena, polvo, cascajo, etc.
- Combustible: Corresponde a cualquier material que se pueda quemar con facilidad, papel, madera, carbón.
- No combustible: Comprende todos los materiales que no se queman y son difíciles de quemar, latas, metales, vidrios, cenizas, plásticos, etc.
- Biodegradables: Es aquella que se va degradando por sí misma, en ella encontramos toda la basura orgánica, restos de comida.

1.3 Métodos para el tratamiento de residuos

En las ciudades se generan grandes cantidades de residuos de materia orgánica, que proceden básicamente de restos de alimentos, limpieza, poda de parques, lodos de depuradoras de aguas residuales, ganadería, comercio, entre otros.

Una de las alternativas que se encuentran en su auge es el emplear estos residuos orgánicos para generar combustibles alternativos a los hidrocarburos, partiendo de la recolección y el tratamiento de los mismos generando un beneficio múltiple, ya que se reducen los niveles de contaminación y se genera una alternativa en el sector energético.

El tratamiento de los residuos sólidos en los países desarrollados, se presenta como una alternativa frente a la disposición final debido: al incremento de los costos de disposición, por la carencia de sitios adecuados, adquisición y transporte; la oposición de ciertos sectores de la población hacia la forma tradicional de la disposición final; la desconfianza en la seguridad de los sistemas de disposición final, ante la eventualidad de una inundación, terremoto, etc.; la degradación y escasez de los recursos naturales, así como el incremento de los costos de ciertas materias primas y energéticos necesarios para la fabricación de productos diversos; e interés económico en los materiales factibles de recuperar.

En la realidad los sistemas de tratamiento vienen a formar parte del proceso integral del manejo de los residuos sólidos, permitiendo un eficiente aprovechamiento de los materiales y optimizando los espacios disponibles para la disposición final de los materiales no utilizados.

Los métodos de tratamiento de los residuos sólidos se pueden clasificar en varias formas. A continuación se citan las principales:

De acuerdo al tipo de proceso que involucran

Tabla 1.1 Procesos Para el Tratamiento de Residuos Sólidos

Tipo	Procesos
Físicos	Separación (manual o mecanizada) Trituración Separación magnética Compactación
Químicos	Hidrólisis Oxidación Vitrificación Polimerización
Biológicos	Composteo Digestión Anaerobia
Destrucción Térmica	Incineración Pirolisis Esterilización Microondas

PROCESOS FÍSICOS

Separación

Es muy usada para la recuperación de papel, cartón, vidrio, metales y otros productos que son sujetos de comercialización como materias primas para diversas industrias. La separación manual se practica en las fuentes generadoras, en los camiones recolectores de residuos sólidos y en los sitios no controlados de residuos sólidos que operan “a cielo abierto”. La separación magnética se utiliza a nivel industrial para separar materiales ferrosos.

Trituración

Es un proceso por medio del cual se reduce el volumen de los residuos para disminuir el costo del transporte. Forma parte del método de tratamiento por microondas de los residuos infecto-contagiosos. Se utiliza en las plantas productoras de composta. En países desarrollados existe la práctica de utilizar un sistema de trituración en los rellenos sanitarios, con el propósito de alcanzar una mayor eficiencia en la compactación de los residuos sólidos para ampliar la vida útil de los sitios.

Compactación

Este método se utiliza principalmente en los rellenos sanitarios para el confinamiento definitivo de los residuos. La compactación se hace con maquinaria pesada en rellenos que disponen más de 40 toneladas por día. El grado de compactación óptima en un relleno sanitario es de 700-800 Kg/m³. Para ciudades de menos de 50,000 habitantes se puede emplear equipo más sencillo o inclusive puede hacerse la compactación en forma manual. La compactación también se utiliza en los sistemas de recolección y transferencia de residuos sólidos, con el objeto de bajar los costos en el transporte.

PROCESOS QUÍMICOS

Hidrolisis

Es un proceso mediante el cual se rompen los enlaces moleculares de los residuos agregando reactivos que pueden ser ácidos, bases, o enzimas. Los productos de la molécula rota pueden ser inocuos o bien requieren ser tratados posteriormente y con más facilidad para reducir su toxicidad. Este método se utiliza para el tratamiento de residuos peligrosos.

Oxidación

Esta tecnología está basada principalmente en el uso de agentes oxidantes tales como peróxido de hidrógeno, ozono o hipoclorito de calcio para oxidar la materia orgánica. La oxidación con aire húmedo es un tratamiento que rompe enlaces presentes en los compuestos orgánicos e inorgánicos oxidables, se realiza a altas temperaturas y presiones y se desarrolló originalmente para tratar lodos residuales.

Vitrificación

El tratamiento de vitrificación térmica es usado para inmovilizar los componentes peligrosos de los residuos y transformar su comportamiento químico y físico. Se emplea para destruir residuos peligrosos en una cámara de reacción a altas temperaturas y sin oxígeno (termólisis). Los contaminantes se funden junto con la masa vítrea.

Polimerización

La polimerización utiliza catalizadores para convertir monómeros o polímeros de bajo grado en compuestos particulares de alto peso molecular que pueden "encapsular" en su matriz diversos tipos de residuos.

PROCESOS BIOLÓGICOS

Composteo

Este método es utilizado para procesar la parte orgánica de los residuos sólidos urbanos que, generalmente, representa el 40-60% del volumen total. Consiste en la fermentación controlada y acelerada de los residuos utilizando el contenido microbiano presente. El resultado es un producto estabilizado que se emplea como abono orgánico o mejorador de suelos, sin llegar a nivel de fertilizante.

Las primeras plantas de composta producida a partir de residuos sólidos datan de los años 1925 a 1930 en la India y Holanda. Los países que más usan esta tecnología actualmente son España, Francia y Suecia. En México se han instalado aproximadamente 10 plantas industriales de composteo pero no han sido proyectos exitosos debido a problemas de mercado, debido a la falta de estudios técnicos orientados a determinar su viabilidad en la región de interés.

Conforme a los propósitos del tratamiento

Propósito Principal	Proceso
Recuperación de materiales o productos para reusó o reciclaje	Separación (manual o mecanizada) Vitrificación Composteo Pirolisis
Recuperación de Energía	Digestión Anaerobia Incineración Pirolisis
Destrucción de Agentes Infectocontagiosos	Incineración Microondas Esterilización

1.4 Problemática ambiental actual

El desarrollo tan acelerado que ha tenido nuestra sociedad en los últimos años no se había tenido, nunca antes los cambios ocurren a una velocidad vertiginosa, generándose grandes transformaciones políticas, culturales, científicas, tecnológicas, económicas, sociales y ambientales.

En el último medio siglo la humanidad ha progresado más que en todos los tiempos anteriores. Se han mejorado las condiciones de vida de gran parte de la población. Han aumentado las expectativas de vida de hombres y mujeres. Las comunicaciones han adquirido una velocidad cada vez más asombrosa. En definitiva, la humanidad tiene cada vez más capacidad para dominar la naturaleza; tanto que incluso amenaza su medio ambiente y por ende su supervivencia.

Todo lo anterior en conjunto mencionado a modo de ejemplo, implica importantes cambios en la vida económica y cultural del mundo moderno. Entre ellos, quizás el cambio más significativo que está ocurriendo es el fenómeno de la globalización, que también influye en los importantes problemas ambientales que amenazan al mundo. El calentamiento global de la atmósfera y el cambio climático, el adelgazamiento de la capa de ozono, la pérdida de la biodiversidad, la disminución de la masa vegetal y el avance de la desertificación, son evidencias de este deterioro.

La utilización de medio ambiente, como término acuñado desde hace tiempo para hacer referencia al espacio en el que se desarrollan las actividades humanas, se presta a una multitud de interpretaciones. De manera general se le puede entender como el sistema natural o transformado en que vive la humanidad, con todos sus aspectos sociales y biofísicos y las relaciones entre ellos.

La protección ambiental se demuestra especialmente en cada una de las miles de “toma de decisiones” que afectan a un territorio: ¿dónde se ubican y cómo se operan las urbanizaciones, los vertederos, las industrias?, ¿qué medidas efectivas se toman para la rehabilitación de canteras y minas a cielo abierto?, son ejemplos de preocupaciones actuales.

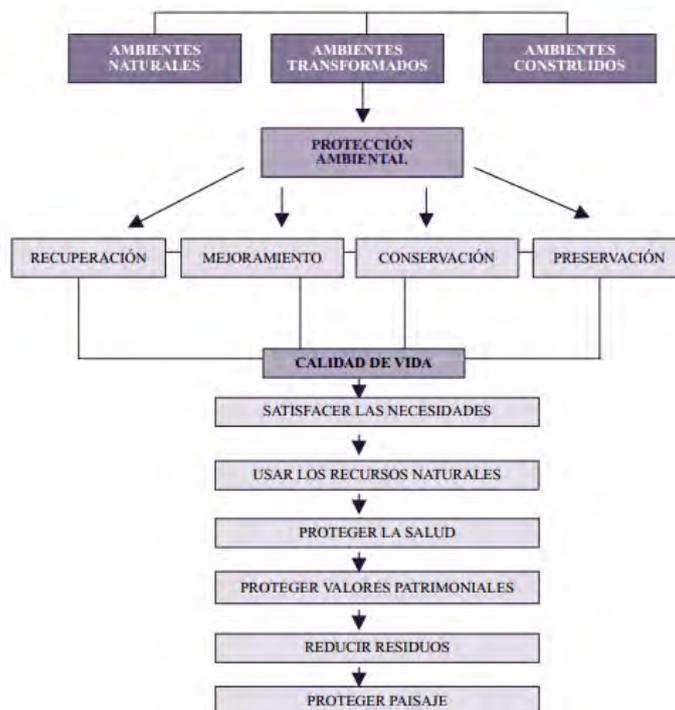
Esa actitud cotidiana, en las pequeñas y grandes cosas, junto con marcar globalmente el “ambientalismo” en las actividades, hace surgir el concepto de impacto ambiental. Durante mucho tiempo este término fue acuñado para los temas de contaminación y también estuvo centrado en lo urbano; luego el concepto se hizo extensible a especies animales, vegetales y a ecosistemas. Por ello se puede definir ampliamente el impacto ambiental como la alteración significativa de los sistemas naturales y transformados y de sus recursos, provocado por acciones humanas. Por tanto, los impactos se expresan en las diversas actividades y se presentan tanto en ambientes naturales como en aquellos que resultan de la intervención y creación humana.

La inquietud central respecto a un impacto ambiental es establecer el tipo de alteraciones que son molestas: ¿el ruido y los humos en el ámbito urbano?, ¿los problemas sanitarios?, ¿el efecto invernadero o el deterioro de la capa de ozono? Las respuestas a estas preguntas constituyen los niveles de alteración ambiental cuyo significado e importancia preocupan a la humanidad en general y a los países y grupos humanos en particular.

La dimensión ambiental debe analizarse, en un sentido amplio, tanto en sus aspectos como de contaminación, de valor paisajístico, de alteración de costumbres humanas y de impactos sobre la salud de las personas. En definitiva, la preocupación surge con todas las características del entorno donde vive el ser humano cuya afectación pueda alterar su calidad de vida.

Para hacer frente a esta problemática ambiental es necesario llevar a cabo acciones que contrarresten o minimicen el deterioro ambiental que generamos mediante la intervención humana en el medio ambiente, generando nuevos procesos o alternativas que cumplan con dicho fin.

Figura 1.1: Características del medio ambiente y medidas de protección.



Como se mencionó con anterioridad el medio ambiente sufre de deterioros ambientales a causa de la intervención humana y algunos factores climáticos propios del medio, partiendo de este hecho se identifican algunos de las problemáticas más importantes contenidas en entre las siguientes:

Cambio climático: El incremento desde el siglo XIX de las emisiones de gases de efecto invernadero en la atmósfera por las actividades humanas está provocando que la Tierra esté sufriendo un cambio climático. Este problema ambiental causa diversos impactos "abrumadores" sobre la naturaleza y los seres humanos. Así lo subraya el Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC), el grupo internacional de científicos organizado por Naciones Unidas para estudiar el problema, en su más reciente informe.

Contaminación: La contaminación ambiental provoca impactos negativos en los ecosistemas y diversas enfermedades, alteraciones y la reducción de la esperanza de vida en millones de personas en todo el mundo. Los agentes contaminantes son muy diversos y cada vez causan más problemas de salud, incluso antes de nacer. Así lo señalan desde grupos de investigación a organismos internacionales como la Organización Mundial de la Salud (OMS).

Deforestación: La destrucción de los bosques, o deforestación, ha disminuido a nivel global en los últimos años, pero continúa a un ritmo "alarmante" en muchos países, en especial en Sudamérica y África, según la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). La agricultura insostenible o la explotación maderera intensiva son sus principales causas.

Degradación del suelo: Las actividades humanas provocan fenómenos graves de degradación del suelo. Entre ellos cabe destacar la erosión, un problema que, según los expertos, se está acelerando en todos los continentes y cada año causa una pérdida de entre 5 y 7 millones de hectáreas de tierras cultivables. En España, amenazas tan diversas como la agricultura intensiva, la construcción o la contaminación han supuesto que su situación sea mala en general.

Energía: El consumo cada vez más elevado de energía a nivel mundial y el continuo uso de los combustibles fósiles generan diversos impactos ambientales que resultan preocupantes para el desarrollo humano de las próximas décadas. El uso de energías renovables y el aumento de la eficiencia energética son algunas de las soluciones para combatir este problema.

Escasez de agua: El agua, el acceso a ella en unas mínimas condiciones de calidad y su escasez son cada vez más preocupantes. Algunos expertos hablan incluso de que el agua será el elemento más valioso del siglo XXI y principal causa de guerras y conflictos. Naciones Unidas declaraba 2013 como Año Internacional de la Cooperación en la Esfera del Agua para concientizar sobre la trascendencia de proteger y garantizar este recurso natural.

Extinción de especies y pérdida de biodiversidad: Los científicos alertan desde hace años del aumento de las especies en peligro de extinción y la pérdida de biodiversidad. Así lo dejan en evidencia trabajos como la Lista Roja de la Unión Mundial para la Naturaleza. Nick Nuttall, portavoz del Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente, asegura que "somos testigos de una sexta extinción impulsada por los seres humanos". La pérdida de biodiversidad no solo causa daños en el medio ambiente, sino en la economía, como recalca el estudio "The Economics of Ecosystems and Biodiversity (TEEB)".

Invasión y tráfico ilegal de especies: Las especies invasoras, la introducción de seres vivos desde fuera de su área de distribución natural, representa, la segunda causa de amenaza a la biodiversidad, tras la destrucción de los hábitats. El número de especies introducidas se ha incrementado de forma notable a nivel global en los últimos decenios. Por su parte, el contrabando de especies pone en peligro la supervivencia de cientos de especies amenazadas en todo el mundo y los ecosistemas de donde son arrebatadas.

Residuos: La generación mundial de basura en las ciudades será el doble que la actual en 2025 y más del triple en 2100. Así lo señala un estudio en la revista Nature, que afirma que es el contaminante ambiental más rápido en producirse. Si los residuos no se tratan de forma adecuada, en especial los peligrosos, pueden provocar daños muy diversos en el medio ambiente y los seres humanos. El reciclaje, además de paliar este problema, evita el uso de nuevas materias primas y reduce así el impacto ambiental.

Sobrepesca: El 60% de las especies comerciales más importantes del mundo están sobreexplotadas o agotadas, y solo el 25% de los recursos pesqueros actuales se consideran constantes. La sobrepesca, que afecta tanto a grandes mares y océanos como a ríos, pone en peligro la supervivencia de los recursos marinos y, por ello, la disponibilidad de una importante fuente de alimento para la población mundial. La Unión Europea ha reformado su Política Pesquera Común para proteger el medio marino mediante la pesca sostenible.

Situación del medio ambiente en México

Se estima que el 24% de la carga de la enfermedad mundial y el 23% de todos los fallecimientos pueden atribuirse a factores ambientales, entre los cuales se encuentran:

- Mala calidad del aire en medianas y grandes ciudades y en zonas rurales.
- Acceso al agua no segura para beber
- Exposición a sustancias químicas
- Compuestos orgánicos persistentes
- Metales
- Alteraciones climáticas
- Contaminación de zonas mineras
- Residuos sólidos municipales

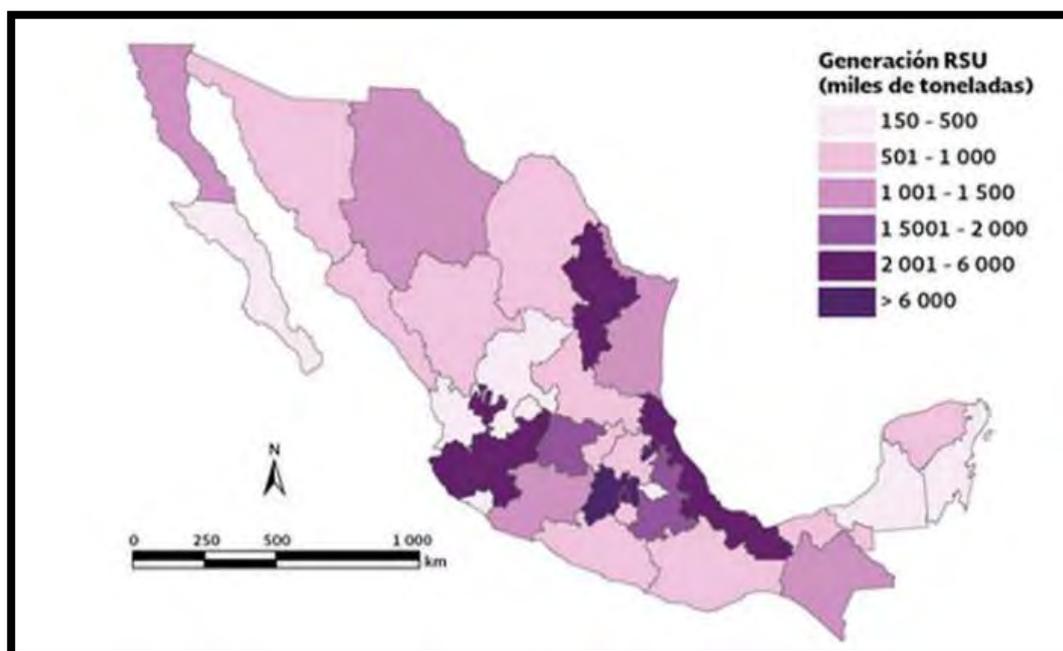
En México, la cobertura de los ecosistemas naturales del país se redujo 62% en 1976, 54% en 1993 y 38% para el año 2002 con las mayores pérdidas en las zonas tropicales. De acuerdo con el Inventario Nacional de Emisiones (INEM), en el país se emiten más de 40.5 millones de toneladas de contaminantes a la atmósfera. Los indicadores de calidad del agua muestran que 73% de los cuerpos de agua del país están contaminados; el 80% de las descargas de centros urbanos y 85% de las descargas industriales se vierten directamente en ellos sin tratamiento previo.

La contaminación atmosférica se ha extendido en los últimos años a otras ciudades además de las zonas metropolitanas del valle de México, Monterrey y Guadalajara. El Cuarto almanaque de datos y tendencias de la calidad del aire en 20 ciudades mexicanas pone en evidencia la necesidad de mejorar la calidad del aire en las ciudades mexicanas y resalta que la ZMVM, no es ya la peor clasificada en el país, salvo en lo que se refiere a la contaminación por ozono y dióxido de nitrógeno. Este análisis también indica que los datos reportados por las distintas redes de monitoreo son heterogéneos y la información obtenida resulta insuficiente para varias ciudades.

Aproximadamente 28 millones de habitantes en el país, de los cuales 90% viven en el área rural, utilizan combustibles sólidos (principalmente leña) como su principal fuente de energía doméstica. En estos ambientes intramuros, donde generalmente se realiza la combustión en fogones abiertos, se alcanzan los niveles más altos de contaminación del aire en el país; los niveles de PM2.5 pueden alcanzar hasta 1 000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

En el país hay 15,310 muertes anuales atribuidas a la contaminación del aire por material generado en interiores.

Figura 1.2 Generación de residuos sólidos urbanos por entidad en México, 2011.



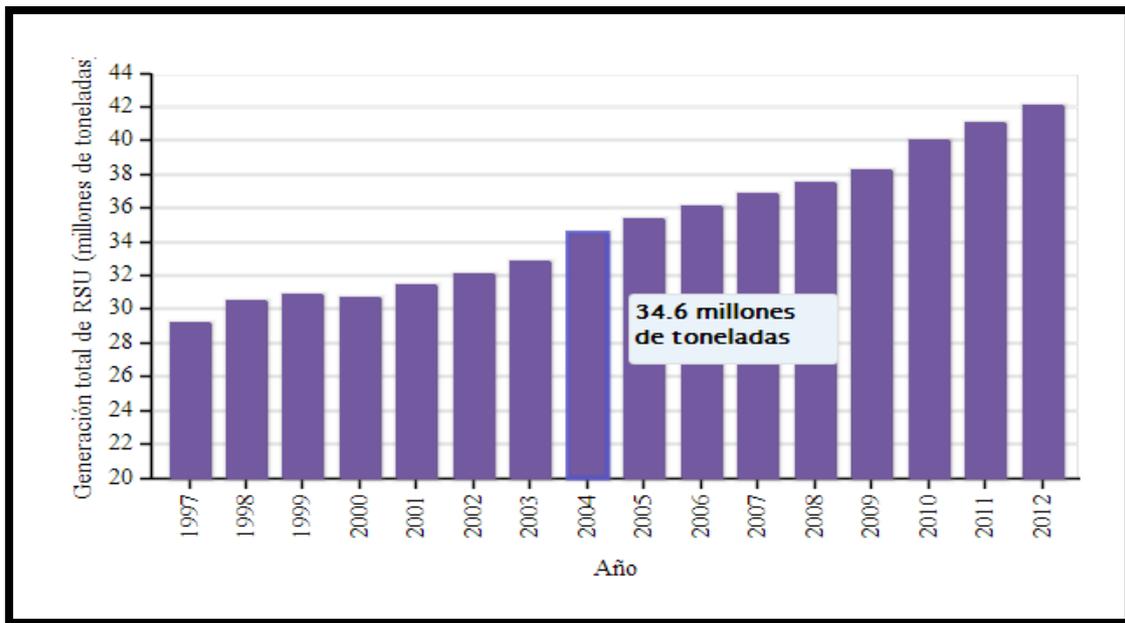
FUENTE: SEDESOL, (2012). Dirección General de Equipamiento e Infraestructura en Zonas Urbano-Marginadas, México.

Las entidades federativas que generaron los mayores volúmenes de RSU en 2012 fueron el estado de México (16% del total nacional, 6.789 millones de toneladas), Distrito Federal (12%, 4.949 millones de toneladas), Jalisco (7%, 3.051 millones de toneladas), Veracruz y Nuevo León (5%, 2.301 y 2.153 millones de toneladas), mientras que las que registraron los menores volúmenes fueron Nayarit y Tlaxcala (cada una con 0.8%, 346 mil toneladas y 339 mil toneladas), Baja California Sur y Campeche (cada una con 0.6%, 259 mil y 271 mil toneladas) y Colima (0.5%, 228 mil toneladas).³¹

Las cifras sobre la generación de residuos sólidos urbanos (RSU) a nivel nacional reportadas en los últimos años presentan limitaciones importantes, básicamente porque se trata de estimaciones y no de mediciones directas.

La generación de RSU se incrementó notablemente en los últimos años; tan sólo entre 1997 y 2012 creció 43.8%, pasando de cerca de 29.3 a 42.1 millones de toneladas, como resultado principalmente del crecimiento urbano, el desarrollo industrial, las modificaciones tecnológicas, y el cambio en los patrones de consumo.

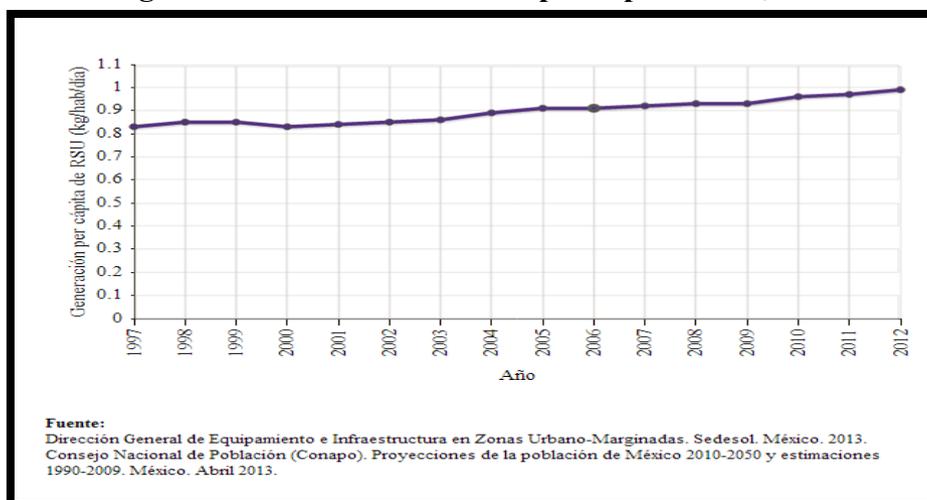
Figura 1.3 Generación de residuos sólidos urbanos anual en México, 2013.



FUENTE: Dirección General de Equipamiento e Infraestructura en Zonas Urbano-Marginadas SEDESOL. México, 2014

Si se calcula la generación de RSU por habitante, se observa también un aumento importante: entre 1950 y 2012 el volumen diario aumentó más de tres veces, pasando de 300 a 990 gramos en promedio. En términos anuales pasó de 301 a 361 kilogramos entre 1997 y 2012, es decir, se incrementó en promedio 3.3 kilogramos por año.

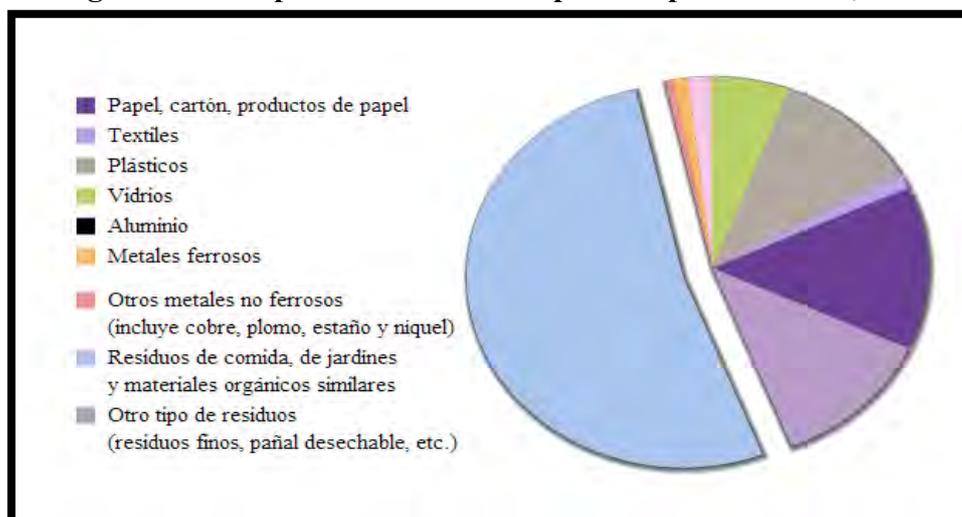
Figura 1.4 Generación de RSU per cápita anual, 2013.



FUENTE: Dirección General de Equipamiento e Infraestructura en Zonas Urbano-Marginadas SEDESOL. México, 2014

La composición de los residuos depende, entre otros factores, de los patrones de consumo de la población: por lo general, países con menores ingresos producen menos residuos (dominan los de composición orgánica), mientras que en los países con mayores ingresos los residuos son mayormente inorgánicos debido al mayor consumo de productos manufacturados. México ilustra la transformación entre ambos tipos de economías: en la década de los 50, el porcentaje de residuos orgánicos en los residuos totales oscilaba entre 65 y 70% de su volumen, mientras que para 2012 esta cifra se redujo al 52.4%.²⁸

Figura 1.5 Composición de los RSU por su tipo de residuo, 2012.



FUENTE: Dirección General de Equipamiento e Infraestructura en Zonas Urbano-Marginadas SEDESOL. México, 2014

RESIDUOS GRASOS DE ORIGEN VEGETAL

El aceite vegetal tiene un gran uso en los hogares, centros e instituciones, hostelería, restaurantes, etc. Una parte importante de estos aceites se utilizan en el proceso de fritura donde sufren cambios y alteraciones químicas que hacen necesario su desecho. La correcta gestión de los aceites usados de cocina pasa por su entrega a empresas gestoras autorizadas, donde tras los oportunos tratamientos se obtiene una materia prima para la producción principalmente de biodiesel, generando actividad económica y reduciendo la dependencia de combustibles fósiles.

Si se realiza de forma inadecuada, los aceites usados de cocina se vierten por el fregadero o el inodoro, son una fuente de contaminación de las aguas de ríos, lagos, etc., causan problemas en las redes de saneamiento y sobre costos en las Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales.

Como fuente de contaminación, un litro de aceite usado contiene aproximadamente 5.000 veces más carga contaminante que el agua residual que circula por las alcantarillas y redes de saneamiento y puede llegar a contaminar 40.000 litros de agua, que es equivalente al consumo de agua anual de una persona en su domicilio.

En las redes de saneamiento, los aceites usados, al unirse con restos de los detergentes y jabones de uso doméstico, llegan a provocar las denominadas “bolas de grasa”, capaces de generar situaciones de atascos en colectores. Por último, cuando los aceites usados llegan a las Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales, debido al alto contenido de materia orgánica, incrementan los costos de la depuración.

Químicamente, los aceites y las grasas son lípidos simples formados por glicéridos: ésteres glicerínicos de los ácidos grasos.

En general, el término grasa, incluye todos los triglicéridos y se relaciona con los productos lipídicos de origen animal y otros minoritarios de origen vegetal, mientras que aceite se refiere a los lípidos de origen vegetal, independientemente del estado líquido o sólido que adquieran según la temperatura ambiental o su punto de fusión.

Los lípidos de los alimentos, salvo muy raras excepciones, contienen ácidos grasos de cadena lineal saturados o insaturados. Algunos ácidos grasos están presentes en todas las grasas y aceites y otros lípidos. Este es el caso de los ácidos oleico, linoleico, esteárico, palmítico y palmitoleico. Especial importancia han adquirido el linoleico y el linolénico por su relación con efectos potencialmente beneficiosos para la salud.

En función de los ácidos grasos podrían establecerse varios subgrupos:

- Aceites procedentes de semillas: algodón, sésamo, girasol, maíz, cacahuete y cártamo o de tegumento o pulpa de frutos: oliva y palma, ricos en ácidos oleico y linoleico y contenido en ácidos grasos saturados no superior al 20%. En este grupo la cantidad de ácidos grasos saturados es muy baja.
- Aceites de coco, palma, babassu y coquilla con una proporción de 40-50% de ácido láurico C12, con bajo grado de insaturación y ácidos grasos de cadena corta, por lo que funden a temperaturas poco altas y son relativamente estables.

- Aceites de soja, germen de trigo, cáñamo y perilla, ricos en ácido linoleico, grasas lácteas y tejidos adiposos animales, con un elevado grado de saturación de los ácidos grasos.

Los aceites de cocina usados, recogidos selectivamente, pueden recibir tratamientos mediante los cuales se preparan para la producción de biocarburantes, jabones y otros usos en la industria química (ceras, barnices, otros), reduciendo así el uso de recursos procedentes de materias primas e impulsando la actividad económica y empleos más verdes.

El aceite de cocina utilizado presenta una composición química diferente dependiendo el tipo de aceite y el uso que haya tenido, la composición química promedio de un litro de aceite usado tiene la siguiente composición media:

- 85% de aceite.
- 10% es agua con restos de aceite y materia orgánica.
- 5% son lodos cuya composición es un 60% aceite, un 30 % materia orgánica y un 10% agua.
- Densidad relativa: 0,91

Capítulo II
Normas que regulan el proceso de almacenamiento y tratamiento de combustibles

Capítulo II Normas que regulan el proceso de almacenamiento y tratamiento de combustible

2.1 Antecedentes

A partir de 1950, la creciente industrialización, el uso desmedido de los recursos naturales y la política de precios bajos de la energía, incrementaron la producción y consumo de resinas, fertilizantes, pinturas, cemento, fibras sintéticas, papel, hule y plásticos, entre otros productos. En este período el proceso de desarrollo urbano se convirtió en un serio problema: la explosión demográfica y la migración rural–urbana alcanzaron cifras muy elevadas, que se tradujeron en un crecimiento acelerado de las grandes ciudades.

El desarrollo del país generó un modelo de explotación intensiva y extensiva de los recursos naturales, así como un desarrollo urbano industrial que no previó sus efectos ambientales ni reguló adecuadamente los residuos que se generaron. En respuesta a esta situación, y tratando de contrarrestar los problemas ambientales que el desarrollo poco controlado había provocado, el gobierno federal formuló, a partir de la pasada década de los setenta, una política de protección ambiental con un enfoque integral, y reformó la Constitución para establecer sus bases jurídicas y administrativas.

En 1972 como respuesta directa de organización administrativa del gobierno federal para contrarrestar los problemas ambientales del desarrollo, desde un enfoque de protección a la salud humana, se instituye la Subsecretaría para el Mejoramiento del Ambiente en la Secretaría de Salubridad y Asistencia; que absorbió, entre otras, las funciones de ingeniería sanitaria que realizaba, desde 1964, la Comisión Constructora de Ingeniería Sanitaria.

A partir de 1982, la política ambiental mexicana presenta un enfoque integral, al reformarse la Constitución y crearse nuevas instituciones, entre ellas la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología (SEDUE), responsable de la aplicación de la normatividad ambiental.

En 1992, mediante cambios en la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal, se transformó la SEDUE en la Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL); si bien algunas de las atribuciones de SEDUE pasaron a la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos y a la Secretaría de Pesca, la SEDESOL asumió las principales atribuciones ambientales. Se crearon además, el Instituto Nacional de Ecología (INE) y la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA), mediante las cuales la SEDESOL ejercería sus atribuciones ambientales. Con estas acciones se separaban las funciones administrativas y normativas, de las funciones de inspección y vigilancia del cumplimiento de la Ley.

En diciembre de 1994 se reformó la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal con el objeto de crear una nueva dependencia del Poder Ejecutivo para fortalecer el concepto de desarrollo sustentable y planear el manejo de los recursos naturales y las políticas ambientales en nuestro país desde un punto de vista integral, articulando los objetivos económicos, sociales y ambientales; así surgió la Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP).

El 30 de noviembre de 2000 se modificó la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal, reestructurando a la SEMARNAP, para dar origen a la actual Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), con el fin de impulsar una política nacional de protección a los recursos naturales e incidir en el control de la contaminación, la pérdida de ecosistemas y la biodiversidad.

2.2 Organismos encargados de regular el proceso

El organismo encargado de regular y licitar a las empresas que se dedican a la producción de biodiesel es la Secretaría de Energía y mediante un comunicado publicado en el diario oficial de la federación estipula los lineamientos y requisitos previstos para poder desarrollar el proceso dentro del marco jurídico establecido, dicho acuerdo es resumido a continuación.

En este acuerdo se emiten los lineamientos para el otorgamiento de permisos para la producción, almacenamiento, el transporte y la comercialización de bioenergéticos del tipo etanos anhidro y biodiesel.

Los solicitantes de permisos para la producción y el almacenamiento de Etanol Anhidro y de Biodiesel deberán ajustarse a lo siguiente:

CAPITULO II De los permisos para la producción y el almacenamiento de etanol anhidro y de biodiesel

Quedan exentos de la presentación de la solicitud señalada en el párrafo anterior, los productores de Etanol Anhidro y de Biodiesel cuya capacidad de producción sea menor o igual a 500 litros diarios, y cuya capacidad de almacenamiento sea menor o igual a 1000 litros, siempre que lo realice en el mismo lugar de su producción. En su lugar, presentarán ante la SENER un aviso en escrito libre señalando lo siguiente:

- a) Nombre, domicilio, número telefónico y correo electrónico
- b) Ubicación y breve descripción de las instalaciones, equipos, procesos e insumos con los que desarrollarán las actividades
- c) Manual de operación
- d) Manual de seguridad
- e) Esquema de la planta
- f) Plantilla del personal que participará en la actividad, en la que se señale el número estimado de puestos de trabajo.

La descripción detallada de las instalaciones, equipos y procesos deberá contener la siguiente información:

1. Domicilio de las instalaciones
2. Ubicación de las vías de comunicación que permitirán el acceso y manejo de los productos
3. Nombre y ubicación de los centros de población más próximos a las instalaciones
4. Capacidad total de producción y almacenamiento de las instalaciones
5. Diagrama de los procesos, el cual deberá incluir:
 - a) Equipos sujetos a presión y temperatura
 - b) Tuberías con especificaciones y accesorios
 - c) Instrumentación.
6. Materiales empleados y especificaciones de los equipos
7. Origen, tipo, volumen y rendimiento de producción esperado de los insumos que se utilizarán
8. Manual de operación y servicios auxiliares, que incluya límites de operación para cada etapa de los procesos (máximo, mínimo y normal), las consecuencias de las desviaciones y las acciones requeridas para normalizarlo
9. Balance de materia y energía esperadas, con base en su capacidad máxima de producción, incluyendo servicios auxiliares
10. Plantilla del personal que participará en la actividad, en la que se señale el número estimado de puestos de trabajo.

Los solicitantes deberán presentar junto con la solicitud de permiso los planos civil, mecánico, eléctrico, del sistema contra-incendio y memorias técnico descriptivas, los cuales deberán ser de una dimensión máxima de 0.90 x 1.20 metros a escala indicada en forma gráfica y con anotaciones, y contener la información solicitada.

Para la identificación de los elementos que contengan los planos deberán utilizar la simbología expresada adecuada, sin menoscabo de otros símbolos no previstos, los cuales deberán ser especificados en dichos planos.

Los planos y la memoria técnico descriptiva a que se refiere este numeral deberán contener nombre y firma del ingeniero o ingenieros que los elaboraron, adjuntando fotocopia simple de la cédula profesional correspondiente.

Los solicitantes deberán acreditar que las instalaciones, equipos y procesos con los que se llevará a cabo la producción y el almacenamiento de Etanol Anhidro o de Biodiesel cumplen con las Normas Oficiales Mexicanas contenidas en el Anexo IV de los presentes lineamientos, para lo cual deberán presentar junto con el aviso de inicio de operaciones a que se refiere el artículo 40 del Reglamento, los dictámenes, certificados, informes u otros documentos expedidos por Personas Acreditadas o por autoridad competente, en términos de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización y su Reglamento, que avalen dicho cumplimiento.

CAPITULO III Del permiso para el transporte de etanol anhidro y de biodiesel

El solicitante deberá presentar un informe el cual con base en el reglamento deberá contener la siguiente información:

1. Tipo, cantidad, capacidad, marca, submarca, modelo y, en su caso, matrícula de los vehículos que se utilizarán
2. Ubicación de las instalaciones donde se guardarán los vehículos
3. Superficie de las instalaciones donde se guardarán los vehículos
4. Ubicación de las vías de comunicación que permitirán el acceso y movilidad de los vehículos con los que se transporten los productos
5. Nombre y ubicación de las localidades más próximas a las instalaciones en las que se guardarán los vehículos
6. Plantilla del personal que participará en la actividad, en la que se señale el número estimado de puestos de trabajo
7. Especificaciones técnicas del tanque, recipiente o contenedor que se utilizarán, las cuales deberán incluir:
 - a) Calibre
 - b) Volumen
 - c) Materiales empleados
 - d) Diseño geométrico.

CAPITULO IV Del permiso para la comercialización de etanol anhidro y de biodiesel

Para efectos de lo previsto en el artículo 34 del Reglamento, los solicitantes deberán presentar la siguiente información:

1. Productos o tipo de Bioenergéticos que se comercializarán
2. Hoja técnica
3. Insumo de origen
4. Productor
5. En su caso, materiales empleados en los equipos, tanques y contenedores que permitan la comercialización
6. Tiempo estimado de venta de los Bioenergéticos que se comercializarán, a partir de que se reciban en el punto de venta correspondiente.

2.3 Normatividad

En la pasada década de los setenta, derivada del acelerado desarrollo industrial, surgió la conciencia del tema de la contaminación y de su impacto sobre la salud y el medio ambiente; se inició entonces el desarrollo de políticas de atención a la salud pública y de protección del agua, el suelo y el aire, sin considerar en ese momento al resto de los recursos naturales.

La Ley Federal para Prevenir y Controlar la Contaminación (promulgada el 23 de marzo de 1971), marcó el surgimiento de una normatividad básicamente orientada, como se mencionó, a la protección de la salud; la aplicación de esta ley era competencia exclusiva del Ejecutivo Federal.

La Ley Federal para Prevenir y Controlar la Contaminación, incorpora elementos para el control de emisiones, con una clara orientación a la regulación de los procesos industriales. Cabe mencionar que en el Capítulo Cuarto (de la prevención y control de la contaminación de los suelos) en sus artículos 25 y 26, regula directamente la disposición de los residuos sólidos “provenientes de usos públicos, domésticos, industriales, agropecuarios y demás”, considerando que deben reunir las condiciones para prevenir la contaminación del suelo, alteraciones de los procesos biológicos, modificación, trastornos o alteraciones indeseables del suelo.

El 11 de enero de 1982 se publicó en el Diario Oficial de la Federación la Ley Federal de Protección al Ambiente, que sustituyó a la anterior, y que tenía por objeto la protección, mejoramiento, conservación y restauración del ambiente, así como la prevención y control de la contaminación que lo afecte. Si bien, esta Ley involucraba a los tres órdenes de gobierno, no dejaba claro el ámbito de participación de cada uno de ellos; asimismo, establecía que el Gobierno Federal podría celebrar convenios con los gobiernos de los estados, del Distrito Federal y de los municipios, con el fin de cumplir el objeto de la Ley y utilizar adecuadamente los servicios del personal de las entidades participantes, así como alcanzar el mayor rendimiento de los bienes y recursos económicos.

Un aspecto importante es que dicha Ley incorporó el requerimiento de una Manifestación de Impacto Ambiental, que debían presentar los proyectos de obras públicas o de particulares, principalmente aquéllos en los que se encontraba involucrado el manejo de sustancias peligrosas, que puedan producir contaminación o deterioro ambiental.

En su Artículo 36 la Ley facultaba al Gobierno Federal para que asesorara a los gobiernos estatales y municipales en la evolución y mejoramiento de sus sistemas de recolección, tratamiento y disposición de los desechos sólidos, incluyendo la elaboración de inventarios de residuos sólidos, industriales y urbanos; la identificación de alternativas de manejo; así como la formulación de programas para la reutilización y disposición final de los desechos sólidos.

En 1987 se facultó al Congreso de la Unión para expedir leyes que establezcan la concurrencia del Gobierno Federal, de los gobiernos de los estados y de los municipios, en el ámbito de sus respectivas competencias, en materia de protección al ambiente y de preservación y restauración del equilibrio ecológico. Lo anterior permitió que el 28 de enero de 1988 se publicara, en el Diario Oficial de la Federación, la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA), que sustituyó a la Ley Federal de Protección al Ambiente.

El 8 de octubre de 2003 se publicó en el Diario Oficial de la Federación la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos, con el objetivo de garantizar el derecho de toda persona a un medio ambiente adecuado; propiciar el desarrollo sustentable mediante la prevención de la generación, valorización y gestión integral de los residuos peligrosos, de los residuos sólidos urbanos y de manejo especial; prevenir la contaminación de sitios con estos residuos y llevar a cabo su remediación, así como establecer las bases para:

- I. Aplicar los principios de valorización, responsabilidad compartida y manejo integral de residuos, bajo criterios de eficiencia ambiental, tecnológica, económica y social, los cuales se deben considerar en el diseño de instrumentos, programas y planes de política ambiental para la generación de residuos.
- II. Determinar los criterios que deberán ser considerados en la prevención y gestión integral de los residuos.
- III. Establecer los mecanismos de coordinación en los tres órdenes de gobierno.
- IV. Formular una clasificación básica para uniformar sus inventarios.
- V. Definir las responsabilidades de los productores, importadores, exportadores, comerciantes, consumidores y autoridades de los diferentes niveles de gobierno, así como de los prestadores de servicios en el manejo integral de los residuos.
- VI. Fomentar la valorización de residuos, así como el desarrollo de mercados de subproductos.
- VII. Fomentar la valorización de residuos, así como el desarrollo de mercados de subproductos.
- VIII. Fortalecer la investigación y desarrollo científico, así como la innovación tecnológica, para reducir la generación de residuos y diseñar alternativas para su tratamiento, orientadas a procesos productivos más limpios.

Marco legal vigente para la gestión de los residuos sólidos

Instrumento Jurídico
Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos
Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA)
Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos

La Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos establece conceptos relacionados con el cuidado del ambiente, los recursos naturales y la salud pública en los siguientes artículos:

Artículo 4 Establece el derecho que toda persona tiene a proteger su salud, indica que los desequilibrios a los ecosistemas no deben afectar a la población ni a los individuos.

Artículo 25 Señala que el uso y la explotación de los recursos productivos debe hacerse cuidando la conservación de los mismos y la del medio ambiente.

Artículo 27 Establece la necesidad de conservar los recursos naturales y de prestar atención a los centros de población para preservar y restaurar el equilibrio.

Artículo 73 (XXIX-G) Se refiere a la expedición de leyes en materia de protección al ambiente y de restauración del equilibrio ecológico.

La Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente, en materia de manejo de residuos sólidos establece lo siguiente:

Artículo 5 Son facultades de la Federación:

XIII.- El fomento de la aplicación de tecnologías, equipos y procesos que reduzcan las emisiones y descargas contaminantes provenientes de cualquier tipo de fuente, en coordinación con las autoridades de los Estados, el Distrito Federal y los Municipios; así como el establecimiento de las disposiciones que deberán observarse para el aprovechamiento sustentable de los energéticos.

Artículo 7 Corresponde a los estados de conformidad a lo dispuesto en esta Ley y las leyes locales en la materia, las siguientes:

XI.- Promover en coordinación con las autoridades competentes, la instalación de industrias que utilicen tecnologías y combustibles que generen menor contaminación a la atmósfera, en zonas que se hubiesen determinado aptas para uso industrial, próximas a áreas habitacionales.

Artículo 8 Corresponden a los Municipios, de conformidad con lo dispuesto en esta ley y las leyes locales en la materia, las siguientes facultades:

IV.-La aplicación de las disposiciones jurídicas relativas a la prevención y control de los efectos sobre el ambiente ocasionados por la generación, transporte, almacenamiento, manejo, tratamiento y disposición final de los residuos sólidos e industriales que no estén considerados como peligrosos, de conformidad con lo dispuesto por el artículo 137 de la presente Ley.

Artículo 12 Se consideran prioritarias para el otorgamiento de estímulos fiscales las actividades relacionadas con la preservación y restauración del equilibrio ecológico y la protección al ambiente.

Para el otorgamiento de dichos estímulos, las autoridades competentes consideraran a quienes:

III.- Realicen investigaciones de tecnología cuya aplicación disminuya la generación de emisiones contaminantes a la atmósfera.

Artículo 137 La SEMARNAT expedirá las normas a que deberán sujetarse los sitios, el diseño, la construcción, la operación de las instalaciones destinadas a la disposición final de los residuos sólidos.

Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos

Artículo 21.- Para el cumplimiento del principio de valorización y aprovechamiento de los residuos a que se refiere la fracción II del artículo anterior, se podrá transmitir la propiedad de los mismos, a título oneroso o gratuito, para ser utilizados como insumo o materia prima en otro proceso productivo y podrán considerarse como subproductos cuando la transmisión de propiedad se encuentre documentada e incluida en el plan de manejo que se haya registrado ante la Secretaría.

Los residuos podrán ser valorizados cuando se incorporen al proceso que los generó y ello sea incluido en el plan de manejo que se haya registrado ante la Secretaría.

Artículo 22.- La Secretaría podrá promover y suscribir convenios, en forma individual o colectiva, con el sector privado, las autoridades de las entidades federativas y municipales, así como con otras dependencias y entidades federales, para el logro de los objetivos de los planes de manejo, así como para:

I. Promover planes de manejo de aplicación nacional.

II. Incentivar la minimización o valorización de los residuos.

III. Facilitar el aprovechamiento de los residuos.

IV. Alentar la compra de productos comercializados que contengan materiales reciclables o retornables.

V. Incentivar el desarrollo de tecnologías que sean económica, ambiental y socialmente factibles para el manejo integral de los residuos.

Artículo 57.- En tanto no se expidan las normas oficiales mexicanas que regulen tecnologías o procesos de reciclaje, tratamiento, incineración, gasificación, plasma, termólisis u otros, la Secretaría podrá solicitar al prestador de servicio el proyecto ejecutivo y desarrollo de un protocolo de pruebas, siempre que:

- I. La tecnología o el proceso sea innovador y no exista experiencia al respecto.
- II. Existan antecedentes de que la citada tecnología o proceso no es eficaz para los residuos peligrosos que se pretenden manejar.
- III. Se pretenda realizar incineración de residuos.
- IV. Se pretenda manejar compuestos halogenados u orgánicos persistentes.

El protocolo de pruebas se realizará de acuerdo con lo establecido en la norma oficial mexicana correspondiente.

2.4 Sanciones en las que se pueden incurrir

La Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente

Artículo 171.- Las violaciones a los preceptos de esta Ley, sus reglamentos y las disposiciones que de ella emanen serán sancionados administrativamente por la secretaría, con una o más de las siguientes sanciones:

- I. Multa por el equivalente de treinta a cincuenta mil días de salario mínimo general vigente en el Distrito Federal al momento de imponer la sanción.
- II. Clausura temporal o definitiva, total o parcial, cuando:
 - a) El infractor no hubiere cumplido en los plazos y condiciones impuestos por la autoridad, con las medidas correctivas o de urgente aplicación ordenadas.
 - b) En casos de reincidencia cuando las infracciones generen efectos negativos al ambiente.
 - c) Se trate de desobediencia reiterada, en tres o más ocasiones, al cumplimiento de alguna o algunas medidas correctivas o de urgente aplicación impuestas por la autoridad.
- III. La suspensión o revocación de las concesiones, licencias, permisos o autorizaciones correspondientes.

Artículo 172.- Cuando la gravedad de la infracción lo amerite, la autoridad, solicitará a quien los hubiere otorgado, la suspensión, revocación o cancelación de la concesión, permiso, licencia y en general de toda autorización otorgada para la realización de actividades comerciales, industriales o de servicios, o para el aprovechamiento de recursos naturales que haya dado lugar a la infracción.

Artículo 175.- La Secretaría podrá promover ante las autoridades federales o locales competentes, con base en los estudios que haga para ese efecto, la limitación o suspensión de la instalación o funcionamiento de industrias, comercios, servicios, desarrollos urbanos, turísticos o cualquier actividad que afecte o pueda afectar el ambiente, los recursos naturales, o causar desequilibrio ecológico o pérdida de la biodiversidad.⁴⁰

Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos

Artículo 154.- La Secretaría, por conducto de la Procuraduría, realizará los actos de inspección y vigilancia a que se refiere el artículo 101 de la Ley, así como los relativos al cumplimiento de las disposiciones contenidas en el presente ordenamiento y las que del mismo se deriven, e impondrá las medidas de seguridad, correctivas o de urgente aplicación y sanciones que resulten procedentes.

Artículo 160.- En la resolución administrativa correspondiente se señalarán o adicionarán las medidas que deberán llevarse a cabo para corregir las deficiencias o irregularidades observadas, el plazo otorgado al infractor para satisfacerlas y las sanciones a que se hubiere hecho acreedor conforme a las disposiciones aplicables.

Artículo 161.- En el caso a que se refiere el artículo 111 de la Ley, la autoridad correspondiente, por sí o a solicitud del infractor, podrá otorgar a éste la opción de conmutar el monto de la multa por la realización de inversiones equivalentes en la adquisición e instalación de equipo para evitar contaminación o en la protección, preservación o restauración del ambiente y los recursos naturales, siempre y cuando se garanticen las obligaciones del infractor, la inversión planteada no tenga relación directa con los hechos que motivaron las infracciones y la autoridad justifique plenamente su decisión.³⁹

³⁹ *REGLAMENTO DE LA LEY GENERAL PARA LA PREVENCIÓN Y GESTIÓN INTEGRAL DE LOS RESIDUOS.

⁴⁰ * REGLAMENTO DE LA LEY GENERAL DEL EQUILIBRIO ECOLÓGICO Y LA PROTECCIÓN AL AMBIENTE.

Capítulo III
Industria del Biodiesel en México

Capítulo III Industria del Biodiesel en México

3.1 Producción de biodiesel en México

En la actualidad, la producción mundial de biodiésel se concentra en pocos países. Por ejemplo, del total durante el 2010, alrededor del 75% se produjo en Europa, donde Alemania contribuyó con el 55%, y la mayor parte del 25% restante fue producido por Estados Unidos de América. Estas cifras son muy dinámicas entre los países de América que reportan la producción de biodiésel a cierta escala comercial como Canadá, Brasil y Argentina, mientras que la mayoría de los demás países informan una producción incipiente o en una escala de prueba.

En México hay dos experiencias de producción de biodiesel a escala industrial.

Biocombustibles Internacionales SA de CV, en Nuevo León, tuvo durante varios años una planta de 50000 l/d a partir de sebo de res y aceites vegetales usados. El biodiesel era utilizado por PEMEX refinación como aditivo para la lubricidad del diésel de ultra bajo azufre. Desafortunadamente la planta fue cerrada en meses recientes debido a que PEMEX Refinación decidió dejar de comprar biodiesel como lubricante. Esto habla de la dificultad de armar proyectos a largo plazo en el país cuando no se tiene un marco institucional sólido o coherente entre las distintas instancias gubernamentales.

Chiapas Bioenergético tiene dos plantas de biodiesel a partir de aceite de palma africana y de aceites vegetales usados Tuxtla Gutiérrez con 2,000 l/d y Puerto Chiapas con 28,000 l/d,. Ese biodiesel se utiliza en mezclas B5 y B20 en 40 vehículos de transporte público de Tuxtla Gutiérrez y Tapachula.

En México actualmente ya existen algunas empresas que están produciendo biodiesel a partir de aceites reciclados y algunos cultivos bioenergéticos como es el caso de la palma de aceite y la higuera, en volúmenes todavía reducidos, esta producción la utilizan para autoconsumo y para venta a empresas de autotransporte que desean obtener el sello de empresas socialmente responsables.

Sin embargo, a nivel nacional, no existe una producción a gran escala de biodiesel. El desarrollo de los biocombustibles en México está en una etapa temprana. El marco normativo actual no ofrece garantías contra la deforestación o la competencia por la tierra para la producción de alimentos.

El diésel representa el 15,1% del consumo final energético de México. Su consumo diario creció entre el 2006 y el 2010 a una tasa anual del 3,8% y alcanzó ese último año casi 330 mil barriles por día. El consumo promedio diario de diésel durante ese período fue de 298,900 barriles/día, cifra que multiplicada por 365 días muestra un consumo medio anual para el período de 109,1 millones de barriles por año.

Para llegar a sustituir un 5% del diésel de petróleo en el país será necesario instalar 10 plantas industriales con capacidad de 100 000 t/año cada una o más de 140 plantas pequeñas con capacidad de 5000 t/año cada una.

La Secretaría de Energía (SENER) ha comenzado a evaluar la posibilidad de desarrollar un programa de fomento al uso de biocombustibles como fuente de energía renovable, de manera que contribuyan a la diversificación del abasto de energéticos y a la reducción del consumo de carburantes fósiles, responsables de la generación de emisiones de gases con efecto invernadero. La intención es fomentar el uso de distintos biocombustibles líquidos, en especial el biodiésel y el bioetanol, elaborado a partir del bagazo de la cosecha de la caña de azúcar o del maíz.

En México existen una serie de programas destinados a la elaboración de biodiésel entre los cuales podemos destacar los siguientes:

Tabla 3.1 Proyectos Para la Producción de Insumos Energéticos en México (Zamarripa, 2009)

Localización	Iniciativa	Tipo de biomasa	Producción (millones de litros al año)
Chiapas	Gobierno del estado, junto al instituto de bioenergéticos y energías alternativas	Jatropha e higuera	ND
Colima	Gobierno del estado	Jatropha	17.5
Michoacán	Bioenergía de México S.A. de C.V.	Jatropha e higuera	ND
Michoacán	JatroBiofuels	Jatropha	ND
Morelos	PRETIUM S.C.	Jatropha	ND
Oaxaca	Gobierno del Estado	Jatropha	ND
Puebla	Gabriel Hinojosa	Pongamia y Jatropha	ND
Sinaloa	BioD Sinaloa, Biodiésel industries INC.	Jatropha	12
Sonora	SeawaterFundation	Salicornia	2.5
Yucatán	Kuosol, S.A. de C.V.	Jatropha	200
Veracruz	Palmicultores del Campo S.P.R. de R.L.	Palma de aceite	150

3.2 Zona propuesta para la implementación de una empresa de biodiesel

Se ha elegido el estado de Baja California debido a que en este momento el asesor del proyecto encuentra brindando asesoría técnica a una pequeña empresa que desea instalar una planta piloto en el Estado la cual producirá biodiesel a partir del aceite postconsumo que se genera en la zona, teniendo como principal fuente de materia prima una empresa dedicada a la elaboración de productos alimenticios (galletas) y al sector restauranero de la zona. Se estima una recolección semanal de más de 1000 litros. de aceite reciclado.

En la zona existe un problema con el manejo de los residuos de este tipo ya que por disposición oficial deben ser tratados de forma adecuada y los generadores de estos residuos lo ven como un desecho por el cual en muchas ocasiones deben pagar una cantidad para que las apresas encargadas de la recolección acepten sus residuos, con esta planta piloto, ellos dejan de lado a los intermediarios y realizan la recolección de forma directa sin cobrar por el servicio obteniendo su materia prima a coste 0.}

Principales características.

El Estado de Baja California, está situado en la región noroeste de la República Mexicana y en la parte septentrional de la Península del mismo nombre. Limita al norte con la frontera de Estados Unidos de América, al este por el río Colorado y el Mar de Cortés, al sur por el paralelo 28 y al oeste por el océano Pacífico.

Baja California es una entidad que depende económicamente de la industria metal mecánica, agroindustria, pesca, turismo y de un gran segmento de industria dedicada a la maquila de dispositivos electrónicos y de partes de la industria aeronáutica, entre otras. Entre los cultivos, destacan el algodón, en la zona que se conoce como Valle de Mexicali.

El estado de Baja California, no cuenta con recursos petrolíferos como otras entidades de México, por lo cual, es necesario transportar los combustibles fósiles que se consumen. Desde Estados Unidos, tratándose de gas natural, o desde Rosarito, puerto ubicado en el Pacífico, a donde llegan los buque tanques con los diferentes combustibles líquidos que se requieren, provenientes de las diferentes refinerías con que cuenta el país.

Figura 3.1 Esquema de la zona Baja California



La población total del estado de Baja California es de 3.155 millones de personas, con una distribución porcentual hombre-mujer prácticamente igual y con una tasa de

crecimiento anual del 2.4%. La edad media de la población es de 26 años, caracterizando a la sociedad bajacaliforniana como una población joven en términos generales.

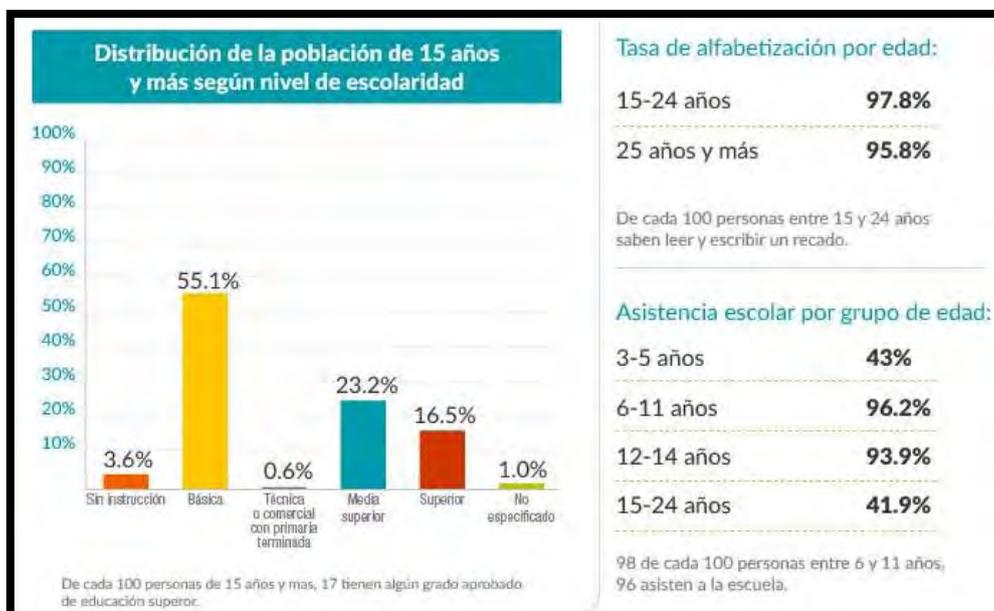
Tabla 3.2 Distribución de la población de B.C.

Municipio	Cabecera Municipal	Habitantes
Ensenada	Ensenada	466814
Mexicali	Mexicali	936826
Tecate	Tecate	101079
Tijuana	Tijuana	1559683
Playas de Rosarito	Playas de Rosarito	90668

Características educativas

Dentro de las características educativas de la población de Baja California, destaca que de cada 100 personas entre los 15 y los 24 años de edad, 98 saben leer y escribir; y que poco más del 17 % del total de personas mayores a 15 años de edad tienen algún grado aprobado en educación superior, reflejando la capacidad de entendimiento, habilidades y profesionalización que la mano de obra calificada presta para incorporarse rápidamente a las actividades productivas de alta especialización.

Figura 3.2 Características Educativas en Baja California.



Características económicas

Dentro de las características económicas de la población del Estado de Baja California, encontramos que el 57.9% del total de la población económicamente activa (de 12 años y más) participa en actividades económicas, destacando que el 95.1% tiene alguna ocupación laboral, contribuyendo así al desarrollo económico de la entidad. La edad promedio de la población económicamente activa es de 36 años y con un promedio escolar de educación de 9 años.

Tabla 3.3 Población económicamente activa de B.C.

Situación Económica	Total	Hombres	Mujeres
Económicamente Activos	57.9%	73.1%	44.2%
Ocupados	95.1%	94.1%	97.1%
Desocupados	4.9%	5.9%	2.9%

Infraestructura

- **Eléctrica**

La infraestructura eléctrica de Baja California se compone de nueve centrales generadoras y 28 unidades de generación (CFE, s/a). Por tipo de tecnología de generación empleada hay cuatro centrales geo termoeléctricas, tres centrales de turbo gas, una de ciclo combinado y una de vapor.

De las 28 unidades de generación existentes en el estado, 13 corresponden a centrales geo termoeléctricas, 7 pertenecen a las centrales de turbo gas y 6 a la única central de vapor que opera en la entidad. Por su parte, la central de ciclo combinado tiene dos unidades de generación. Desde 2009, la capacidad instalada aumentó en 10 MW con la entrada en operación del parque eólico de la Rumorosa.

En Baja California, la capacidad instalada de generación es de poco más de 3,000 MW considerando servicios tanto públicos como privados. Para servicio público se cuenta con 1,800 MW, este integra 1,300 MW de centrales generadoras propiedad de la CFE, siendo la más importante la central geotérmica de Cerro Prieto, y 500 MW de la central eléctrica de La Rosita, localizada en Mexicali y propiedad de la firma norteamericana InterGen, que tiene una capacidad instalada total aproximada de 1,100 MW. Por su parte, el servicio privado de electricidad tiene una capacidad instalada de poco más de 1,200 MW formado por 600 MW restantes de la central La Rosita, y 600 MW de la central eléctrica SempraEnergy localizada también en Mexicali, y propiedad de la firma de California, Sempra. El servicio privado de electricidad está orientado solo a la exportación de electricidad y su principal mercado es el estado de California, Estados Unidos.

- **Agua**

Baja California es el único estado mexicano de la región fronteriza (México – Estados Unidos) que puede garantizar ininterrumpidamente el suministro de agua. La fuente principal de suministro es a través del Río Colorado, el cual proviene de Estados Unidos (EUA) y entra a México a través de la línea fronteriza entre Baja California y Sonora. El cauce del Río Colorado conecta directamente a la ciudad capital Mexicali, requiriendo de la construcción de poco más de 300 Km de acueductos para llevar agua hacia la región de la Costa Oeste

- **Carreteras**

La red carretera de Baja California consta de más de 2,700 km pavimentados y poco más de 8,300 km de caminos vecinales y accesos por terracería. Las 5 principales ciudades (Tijuana, Mexicali, Tecate, Ensenada y Playas de Rosarito), en donde se concentra el 92% de la población y el 95% de la actividad económica, están comunicadas por una carretera moderna de 4 carriles.

Por estas carreteras circula el autotransporte de carga que moviliza bienes intermedios, de consumo y de capital para los procesos productivos de la planta establecida.

Estas carreteras entroncan en los cruces fronterizos con las principales carreteras norteamericanas (Interestatal 5 y 10) y por los cuales fluye ágilmente el transporte de carga. Conectan además con el puerto marítimo de Ensenada, el principal del estado, mismo que abre la entrada a la Cuenca del Pacífico.

Las empresas extranjeras en operación tienen derecho a contar con su equipo propio para el transporte de sus componentes y productos elaborados que provienen o son enviados a los Estados Unidos de América.

- **Aeropuertos**

Baja California cuenta con modernos aeropuertos y un sistema carretero que ponen al alcance del mundo los destinos industriales y turísticos del estado. Aeropuertos internacionales como el de Tijuana (TIJ), el cuarto más importante en el país (con vuelos directos a Asia), y el de Mexicali (MXL), conectan con las ciudades más importantes de México, Estados Unidos y Canadá, ofreciendo al visitante instalaciones aeronáuticas de primera.³²

32* Datos Estadísticos de Baja California

3.3 Estimación de los desechos generados en la zona de estudio

Baja California es un estado de la República Mexicana que satisface sus requerimientos energéticos mediante la importación de combustibles fósiles y el transporte de los mismos desde otras partes del país. Por ello, la producción de biocombustibles a partir de residuos grasos representa una oportunidad para participar en el sector energético de la entidad, y a la vez contribuir a resolver el problema de la disposición de grandes cantidades de aceite y grasas que desechan los establecimientos de preparación de alimentos. Por otra parte, reportes del sector productivo, muestran que en Baja California se producen anualmente más de 6000 toneladas de grasas bovinas, las cuales son utilizadas principalmente para la producción de alimentos balanceados y cuyo uso puede ser orientado hacia la obtención de biodiesel, considerando que su estructura química conlleva un contenido energético que resulta atractivo para su conversión en bioenergéticos.

De acuerdo a un estudio realizado por investigadores del estado, contabilizando ambos insumos para la producción de biodiesel, se estima que es factible satisfacer un 65% de la demanda de diesel del sector transporte de Baja California, utilizando una mezcla B2.

De acuerdo con reportes del Instituto de Estadística y Geografía de México, en Mexicali se reportaron 1094 restaurantes establecidos durante el año 2015. Tomando esta información, así como resultados de un estudio exploratorio efectuado por personal del Instituto de Ingeniería de la UABC, se estimó que la generación de aceites vegetales residuales en el estado es de aproximadamente 10 millones de litros anuales, sólo considerando el sector de preparación de alimentos.

Por otra parte, de acuerdo con información obtenida de reportes oficiales, la producción de ganado bovino en Baja California, para el año 2015, alcanzó una cifra aproximada de 260000 animales sacrificados.

Año	Mexicali		Resto del Estado	
	Animales Sacrificados	Producción (Toneladas)	Producción (Toneladas)	Producción (Toneladas)
2010	176943	44236	36075	9126
2012	185854	48856	26205	6484
2013	202907	57363	20198	5139
2014	223545	64742	21764	5497
2015	236527	71306	23462	5907

Como se mencionó con anterioridad en México no contamos con plantas industriales capaces de tratar estas cantidades industriales en la actualidad por lo tanto, cualquier planta piloto como la que se está poniendo en marcha donde el asesor de este proyecto está participando puede satisfacer su demanda de materias primas, siempre y cuando se establezcan convenios con los generadores de estos residuos, teniendo un amplio margen de crecimiento en este sector.

Capítulo IV
Planta de tratamiento

Capítulo IV Planta de tratamiento

4.1 Principio de operación

4.1.1 Biocombustibles

La definición de un biocombustible es más compleja de lo que parece.

Esto se debe a que para considerar algo como un biocombustible debe cumplir con los siguientes requisitos:

- Tener origen orgánico
- Ser renovable
- Ser económicamente viable.
- Ser biodegradable
- Que sea escalable

De origen orgánico: Técnicamente hablando, los biocombustibles son fuentes de energía originados de cualquier materia orgánica. Y la materia prima a partir de la cual se obtiene el biocombustible recibe el nombre de biomasa. En este punto los combustibles fósiles también presentan esta característica.

Renovable: El hecho de que sea renovable es crítico para que un combustible sea considerado como biocombustible. Una de las metas principales es que los biocombustibles logren remplazar a los combustibles no renovables.

Económicamente viable: Este término hace referencia a un proceso que pueda mantenerse por un tiempo indefinido. La sostenibilidad se aplica principalmente al conjunto de procesos de producción, extracción, distribución, etc., del biocombustible, es decir a los procesos productivos y económicos que permitan que la sociedad utilice un biocombustible de manera indefinida.

Biodegradable: La naturaleza debe ser capaz de procesar y asimilar los residuos originados por su uso, en un tiempo relativamente corto. En el caso del biodiesel este se descompone de forma natural en aproximadamente tres semanas.

Escalable: El hecho de que una nueva tecnología sea realmente revolucionaria poco o nada significa si no conseguimos transformarla en un modelo viable para la sociedad. Muchas tecnologías existentes presentan excelentes resultados en laboratorios o en pequeñas escalas. Pero, cuando se quiere desarrollar a un nivel más grande, estas demuestran ser totalmente inviables.

La idea a partir de estos requisitos es diferenciar los biocombustibles de aquellos de origen fósil, nuclear, entre otros, puesto que estos no presentan estas características y por tanto no poseen las ventajas que vienen con ellas.

Partiendo de estas premisas debemos contemplar las posibles ventajas y desventajas que significa el uso de los biocombustibles:

Ventajas

- **Bajo costo:** Dependiendo de la tecnología empleada y de la biomasa utilizada, los biocombustibles pueden ser mucho más baratos que las fuentes de energía que se proponen sustituir.
- **Renovables:** Al ser renovables les permite ser una fuente inagotable de energía.
- **Inmediatamente disponibles:** Mientras que el petróleo y el carbón por ejemplo necesitan millones de años para ser producidos, los biocombustibles más que algunos meses o pocos años.
- **Estimuladores de la economía:** El hecho de que los biocombustibles pueden ser producidos localmente implica menos divisas saliendo del país, se generan empleos, y se pagan impuestos que se ven reflejados en beneficios locales.
- **Biodegradables:** Al ser biodegradables, significa que no crean residuos agresivos a la naturaleza y en caso de derrame son simplemente absorbidos por esta.
- **Menor cantidad de gas de efecto invernadero:** A diferencia de la gasolina por ejemplo, la cual está compuesta por numerosas moléculas, muchas de ellas altamente generadoras de gases de efecto invernadero, los biocombustibles son compuestos de moléculas simples que al ser estudiadas se ha comprobado que generan muchos menos gases de este tipo.

Desventajas

- **Menor energía:** Los biocombustibles y las energías alternativas en general frecuentemente producen menos energía que los combustibles a los que ellas se proponen a sustituir. Esto significa un mayor gasto de combustible para obtener la misma cantidad de energía, lo que neutraliza los beneficios de costo y emisiones que ellos poseen.
- **Competición con la alimentación agua y terreno:** Muchos biocombustibles proceden de biomásas que son realmente fuente de alimento para los seres humanos. Esto contribuye al aumento del precio de los alimentos. Además, muchas biomásas provienen de plantas que requieren altas cantidades de agua, lo que es un problema en países donde es escasa.
- **Costo inicial alto y baja disponibilidad:** Mientras los medios tradicionales de obtención y distribución de energía ya están plenamente implementados, los biocombustibles necesitan fuertes inversiones iniciales de capital e infraestructura para tornarse de hecho disponibles a la población, lo que los hace inicialmente caros y reduce y/o atrasa su disponibilidad.

¿Qué es el biodiesel?

Se trata de un combustible proveniente de la transesterificación de triglicéridos. El producto que se obtiene es bastante similar al diésel obtenido del petróleo. Dicho proceso se basa en la combinación del aceite, proveniente de alguna semilla, recién extraído, grasa de origen animal o ya sea de residuos de aceite utilizados en la cocina, estos se hacen reaccionar con un alcohol, y como productos obtenemos esteres y glicerol, se toma en cuenta que este último es de utilidad en la industria cosmética.

Existen dos tipos de biocombustibles: los combustibles de primera generación que son los que se obtienen, a partir de azúcar o almidón o de aceites vegetales y grasas animales. Los biocombustibles de segunda generación son combustibles líquidos obtenidos a partir de la biomasa lignocelulosa de las plantas (REDESMA, 2008); como materia prima se puede utilizar cualquier tipo de biomasa vegetal, desde desechos agrícolas de actividad forestal hasta cultivos energéticos específicos.

Ventajas del biodiesel.

En la actualidad, los biocombustibles representan una fuente muy importante de energía y pueden llegar a sustituir a los combustibles fósiles, ya que se trata de un producto no tóxico y biodegradable, que prácticamente no produce un impacto sobre el medio ambiente. Entre los biocombustibles se encuentran el bioetanol, biodiesel, biobutanol y muchos otros, pero los más desarrollados y empleados de esta clase de combustibles son el bioetanol y el biodiesel (Serna et al., 2011).

- El Biodiesel, se obtiene a partir de aceites vegetales vírgenes o reciclados lo cual lo convierte en una fuente renovable; Además al fomentar el uso de aceites reciclados, propiciamos una disminución en el impacto ambiental, ya que el residuo de aceite usado de cocina es capaz de crear una capa, que es difícil de eliminar. Se estima que un litro de aceite podría contaminar 10 mil litros de agua.
- Se contribuye al suministro energético por lo que se reduce la dependencia del petróleo.
- Se mejora la combustión ya que las moléculas contiene mayor número de átomos de oxígeno por unidad de volumen en comparación al diésel convencional.
- No contiene benceno, ni otras sustancias aromáticas cancerígenas.
- En caso de derrama es biodegradable en un periodo aproximado de 21 días.
- No es una sustancia peligrosa de transportar ya que su punto de inflamación se encuentra por encima de los 110°C.

Desventajas.

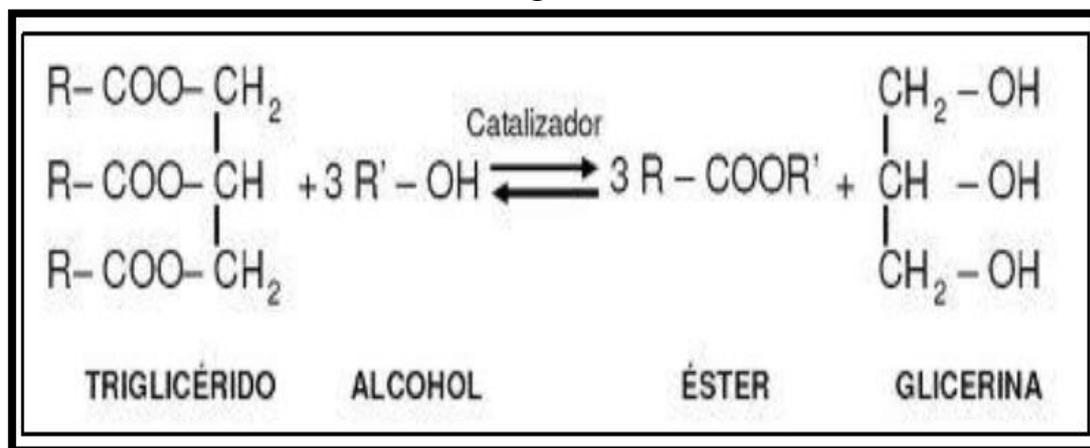
- A bajas temperaturas puede comenzar a solidificar y formar cristales, que pueden obstruir los conductos del combustible.
- Tiene propiedades solventes. Es por esto que puede ser indispensable el cambiar algunas mangueras y retenes del motor antes de usar biodiesel en él.
- Sus costos aún pueden ser más elevados que los del diésel convencional de petróleo. Esto depende básicamente de la fuente de aceite utilizado en su elaboración.

4.1.2 Procesos Físicos, Químicos y Térmicos

Transesterificación

La transesterificación, también llamada alcoholólisis, es el proceso en el cual se hidrolizan los enlaces éster de los triacilglicéridos (compuestos por una molécula de glicerol esterificada por tres moléculas de ácidos grasos) obteniéndose como productos glicerina y nuevos ésteres derivados de los ácidos grasos que se liberan en la hidrólisis. Los nuevos ésteres deben ser purificados mediante procesos de lavado y secado para constituir lo que es el biodiesel (Mota, 2007). En la Figura 3.1 se muestra el esquema general de esta reacción utilizando un alcohol.

Figura 4.1 Esquema general de la reacción de transesterificación de aceites vegetales



Los reactivos utilizados en la transesterificación son:

Alcohol: Se debe adicionar en exceso y tiene que ser de bajo peso molecular. El alcohol actúa como agente nucleofílico (par de electrones libres sobre el oxígeno) sobre el carbono carbonílico deficiente de electrones debido al efecto sustractor que ejerce el oxígeno unido directamente a éste. El alcohol más utilizado es el metanol, ya que es completamente anhidro, tiene una cadena más corta y mayor polaridad, lo que facilita la separación entre los ésteres y la glicerina; sin embargo también pueden ser usados otros como el etanol, propanol, butanol, etcétera.

Catalizadores: Disminuyen el tiempo de reacción y son regenerados al final de la reacción. Pueden ser homogéneos (ácido o básico) o heterogéneos. Es importante que en los procesos convencionales que utilizan catalizadores homogéneos, el contenido de ácidos grasos libres en la materia prima sea inferior a 0,50% y el contenido de agua inferior a 0,06%.

Con los catalizadores homogéneos ácidos, la reacción está catalizada por un ácido de Brönsted (sulfónico, HCl, H₂SO₄, por ejemplo). Este tipo de catalizadores proporcionan un elevado rendimiento en ésteres de ácidos grasos, sin embargo, la reacción es muy lenta y se requiere una temperatura y presión elevadas.

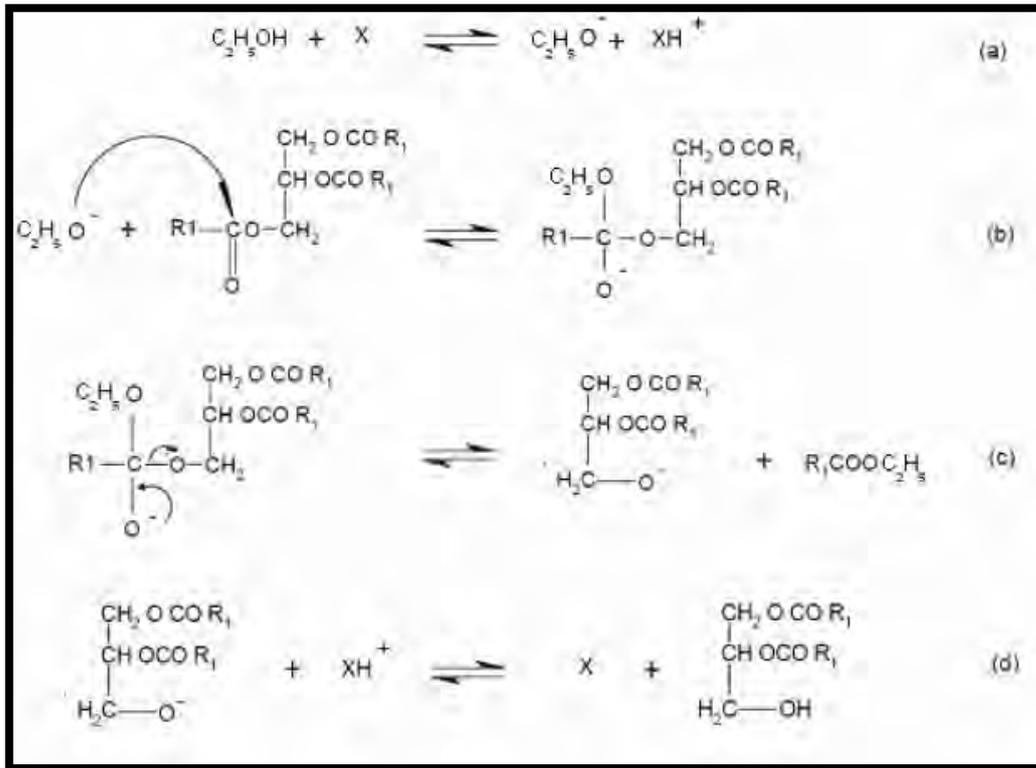
Cuando la transesterificación se lleva a cabo con un catalizador homogéneo básico (NaOH y KOH los más utilizados), la reacción es más rápida y las condiciones de operación son más moderadas. Este tipo de catalizadores son menos corrosivos, por lo que son más utilizados para este proceso. Sin embargo, estos catalizadores forman jabones debido a la neutralización de los ácidos grasos libres en los aceites vegetales, lo que puede disminuir el rendimiento de la reacción. La neutralización de los ácidos grasos se puede evitar si se utilizan aceites con bajo índice de acidez.

Por otro lado, los catalizadores heterogéneos incluyen también enzimas, resinas de intercambio iónico y óxidos metálicos. Su utilización simplifica las etapas de separación y purificación del producto y pueden ser reciclados después de la reacción. Además, estos catalizadores no producen jabones, pero se requiere de condiciones de operación extremas, tiempos de reacción muy elevados y las conversiones que se obtienen son muy bajas.

Mecanismo de reacción:

- a) El etanol (C₂H₅OH) reacciona con el catalizador básico X para provocar la formación del nucleófilo. R₁ es el grupo alquilo que forma parte de la cadena del ácido graso proveniente del triglicérido.
- b) El radical cargado negativamente (C₂H₅O⁻) reacciona con el doble enlace del grupo carbonilo del triglicérido.
- c) Se forma una molécula de éster alquílico (R₁COO C₂H₅).
- d) Se regenera el catalizador formándose un diglicérido. El proceso es repetido hasta que se desaparezca el triglicérido y se formen el monoalquilester y glicerina como productos. La reacción entre el triacilglicérido y el alcohol es reversible, por lo que se necesita añadir el alcohol en exceso para desplazar la reacción hacia la derecha y poder llevarla a cabo hasta su conversión total (Mota, 2007). Las reacciones suelen ser lentas, requieren temperaturas muy elevadas (por encima de los 100°C) y más de 3 horas para la conversión.

Figura 4.2 Reacción de transesterificación utilizando etanol.



La transesterificación puede llevarse a cabo en un medio ácido o básico y los mecanismos son equivalentes a los de hidrólisis. El propósito principal de este proceso es el de reducir la viscosidad del aceite para mejorar sus características carburantes. La reacción de transesterificación se ve afectada por diferentes factores, como la dependencia de las condiciones de reacción como son la temperatura, presión y agitación, la calidad que presente el aceite vegetal que se utilizará, la presencia de los ácidos grasos libres, el tipo de alcohol, la concentración y tipo de catalizador, el tiempo de reacción y la relación molar alcohol/aceite.

Variables que afectan a la reacción de transesterificación

- **Acidez y humedad**

Los contenidos de ácidos grasos y de humedad son los parámetros determinantes de la viabilidad del proceso de transesterificación del aceite vegetal. Para que se lleve a cabo la reacción completa, se necesita tener un valor de ácidos grasos libres (AGL), menor al 3%. Cuanta más alta es la acidez del aceite, menor es la conversión (Herrera y Vélez, 2008; Narwal y Gupta, 2012).

- **Tipo de catalizador y concentración**

Si el aceite que se va a utilizar tiene un alto grado de ácidos grasos y elevada humedad, los catalizadores ácidos son los más adecuados. En los procesos de metanólisis alcalina los principales catalizadores usados han sido el hidróxido potásico y el hidróxido sódico. El proceso se lleva a cabo si aparecen iones de metóxido en la reacción intermedia. Los hidróxidos alcalino-térreos, alcóxidos y óxidos catalizan la reacción más lentamente. Aunque el proceso de transesterificación, utilizando catalizadores alcalinos, tiene una conversión muy alta en un periodo más corto de tiempo, cuenta con algunos inconvenientes: el catalizador debe ser separado del producto final, la recuperación del glicerol puede resultar difícil, el agua alcalina resultante del proceso debe ser tratada y los ácidos grasos y el agua afectan a la reacción.

- **Relación molar de alcohol / aceite y tipo de alcohol**

La relación molar de alcohol a aceite es uno de los principales factores que afecta el rendimiento de biodiesel. La relación estequiométrica requiere tres moles de alcohol y un mol de triglicérido para producir tres moles de ésteres un mol de glicerol. La transesterificación es una reacción de equilibrio, por lo que necesita un exceso de alcohol para conducir la reacción al lado derecho. Para una conversión máxima se debe utilizar una relación molar de 6:1. Si se utilizara un valor más alto de relación molar de alcohol, se afectaría la separación de glicerina debido al incremento de solubilidad. Cuando la glicerina se mantiene en la solución hace que la reacción revierta hacia la izquierda, disminuyendo el rendimiento de los ésteres.

- **Contenido de ácidos grasos libres (AGL) y humedad.**

Los lípidos conocidos como ácidos grasos son ácidos carboxílicos que van de los 4 a los 36 átomos de carbono; pueden clasificarse en saturados e insaturados. Son saturados cuando carecen de dobles enlaces en la cadena hidrocarbonada y se consideran insaturados cuando presentan uno o más dobles enlaces en la cadena lateral. Se ha encontrado que en la catálisis inorgánica altos contenidos de AGL y humedad favorecen el proceso de saponificación. En la catálisis biológica altos valores de estos parámetros no promueven la reacción de saponificación debido a la alta especificidad de las enzimas (Rojas et al., 2010). En la Tabla 3.1 se muestran algunos ácidos grasos y sus propiedades físicas. Como puede observarse dependiendo de su composición será los puntos de fusión y ebullición que presentan.

Tabla 4.1 Propiedades físicas de los ácidos grasos saturados e insaturados presentes en los triglicéridos de aceites y grasas naturales (Snåre et al, 2008).

Nombre común	Nombre Sistemático	Átomos de Carbono	Peso Molecular	Punto de Fusión, (°C)	Punto de Ebullición (°C)
Acido butírico	Ácido Butanoico	4	88.11	-5	163.5
Ácido caprioco	Ácido hexanoico	6	116.16	-3	162.5
Ácido caprílico	Ácido octanoico	8	144.21	16	205.8
Ácido cáprico	Ácido decanoico	10	177.27	32	239.7
Ácido láurico	Ácido dodecanoico	12	200.32	43	270.6
Ácidomirístico	Ácido tetradecanoico	14	228.38	54	298.9
Ácido palmítico	Ácido hexadecanoico	16	256.43	62	309.0
Ácido esteárico	Ácido octadecanoico	18	284.48	69	332.6
Ácido araquídico	Ácido eicosanoico	20	312.54	75	355.2
Ácido behénico	Ácido docosanoico	22	340.59	81	-
Ácido fitánico	Ácido tetracosanoico	24	368.64	84	-

4.1.3 Subproductos comerciales

Los productos que quedan al terminar la reacción de transesterificación son una mezcla de glicerina pura, etanol y cera. Estas tres sustancias pueden separarse mediante un proceso de destilación, sin embargo, este proceso resulta difícil ya que la glicerina requiere de mucha energía para su evaporación.

Glicerina

El contenido de la glicerina libre se utiliza para determinar el contenido de glicerina en el combustible. Niveles bajos de glicerina total aseguran una alta conversión del aceite o de la grasa hacia sus mono-alquil ésteres.

La glicerina procedente del aceite usado es de color marrón y permanece en estado sólido cuando la temperatura está por debajo de 38°C (100° F); la glicerina del aceite virgen o poco usado suele mantenerse líquida a temperaturas menores de 38°C. La glicerina pura tiene muchas aplicaciones en las industrias de medicamentos, tintes, cremas, cosméticos, entre otras (Mota, 2007).

Restos de jabón

Cuando el alcohol se une a los ácidos grasos se produce agua, aunque el aceite también puede contener agua. Los jabones se forman porque los iones del catalizador que es utilizado reaccionan con los ácidos grasos en presencia del agua. Si la mezcla contiene agua desde un principio, durante la reacción se forman más jabones de lo normal. Los jabones son importantes porque son un producto secundario común y no deseado de la producción del biodiesel.

4.2 Procesos industriales para la producción de biodiesel

En la actualidad existen diversos procesos industriales mediante los cuales se pueden obtener biodiesel.

Los más importantes son los siguientes (Sánchez, 2012):

Proceso base-base: En este proceso se utiliza como catalizador un hidróxido. Este hidróxido puede ser hidróxido de sodio (sosa cáustica) o hidróxido de potasio (potasa cáustica) (Velasco et al., 2009).

Proceso ácido-base: Este proceso consiste en hacer primero una esterificación ácida y luego seguir el proceso normal (base-base). Se usa generalmente para aceites con alto índice de acidez (Velasco et al., 2009).

Procesos supercríticos: En este proceso ya no es necesaria la presencia de un catalizador, simplemente se hace a temperaturas y presiones muy elevadas en las que el aceite y el alcohol reaccionan sin necesidad de que un agente externo, como el hidróxido, actúe en la reacción. En estado supercrítico, el aceite y el metanol forman una única fase y la reacción ocurre rápida y espontáneamente. Además tolera que la materia prima contenga agua. El paso de remoción del catalizador es suprimido. A pesar de las altas temperaturas y presiones, los costos energéticos pueden llegar a ser bajos (Espinoza y Palmay, 2009).

Método de reacción ultrasónica

En este método, las ondas ultrasónicas causan que la mezcla produzca burbujas y colapsen entre ellas constantemente. Esta cavitación proporciona de manera simultánea el mezclado y la energía necesarios para llevar a cabo el proceso de transesterificación. Así, utilizando un reactor ultrasónico para la producción del biodiesel, se reduce drásticamente el tiempo, la temperatura y la energía necesaria para la reacción, así como la separación. Los dispositivos ultrasónicos de escala industrial permiten el procesamiento de varios miles de barriles por día y tienen grandes ventajas económicas (Sánchez, 2012).

Procesos enzimáticos

En la actualidad, se está investigando el uso de lipasas, enzimas que pueden servir como aceleradores de la reacción aceite-alcohol. El uso de lipasas hace la reacción menos sensible a grandes cantidades de ácidos grasos libres (que son un problema en la producción común). Este proceso aún no se usa a gran escala, lo cual impide que se produzca biodiesel en grandes cantidades (Espinoza y Palmay, 2009).

4.3 Tipos de procesos para la producción de biodiesel

4.3.1 Procesamiento por lotes

El método más simple para la producción de ésteres de alcohol es utilizar un proceso por lotes, en un reactor de tanque agitado. El reactor puede estar sellado o equipado con un condensador de reflujo. La temperatura ideal de operación es de 65 °C, aunque también se ha operado con temperaturas de 25 a 85 °C.

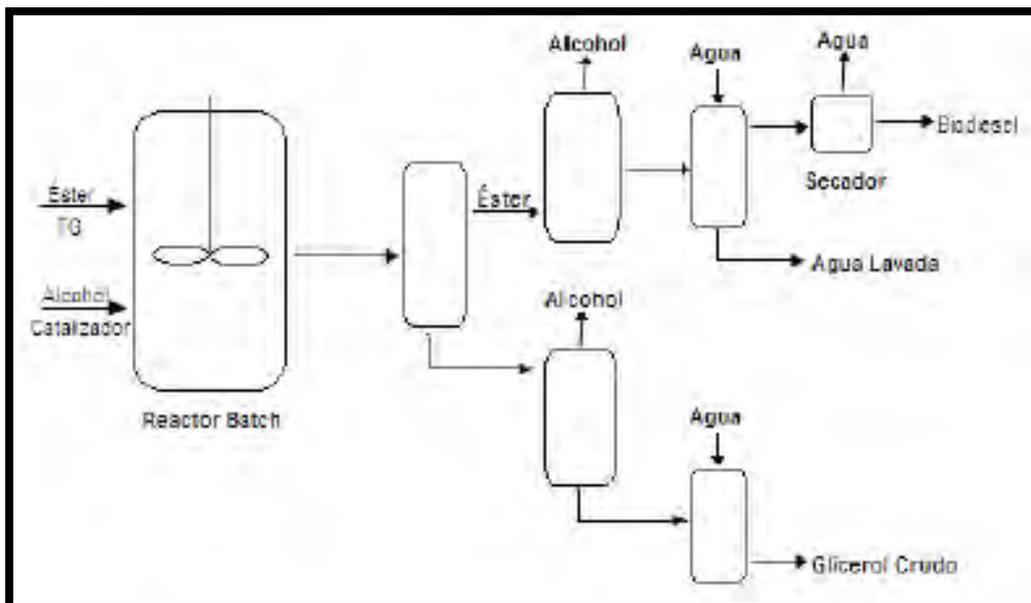
El catalizador más utilizado es el hidróxido de sodio, aunque el hidróxido de potasio también se utiliza. El rango del catalizador utilizado en el reactor va desde 0,3% a aproximadamente 1,5%.

La homogeneización de la mezcla es necesaria en el comienzo de la reacción para llevar el aceite, el catalizador y alcohol a un contacto íntimo. Hacia el final de la reacción, menos mezcla puede ayudar a aumentar la extensión de la reacción al permitir que el producto inhibitor, glicerol, se separe en fases a partir de la fase de éster-aceite (Van *et al.*, 2004).

Algunos grupos utilizan una reacción de dos etapas, con la eliminación de glicerol entre los pasos, para aumentar la reacción final extendida a un 95 %. Mayores temperaturas y mayor cantidad de alcohol: la relación de aceite también puede mejorar el porcentaje de finalización. Los tiempos de reacción típicos oscilan desde 20 minutos hasta más de una hora.

En la Figura 5.1 se muestra un diagrama de flujo del proceso para un sistema continuo típico. El aceite se carga por primera vez al sistema, seguido por el catalizador y metanol. El sistema se agita durante el tiempo de reacción, después se detiene la agitación. En algunos procesos, la mezcla de reacción se deja reposar en el reactor para formar una separación inicial de los ésteres y glicerol. En otros procesos la mezcla de reacción se bombea a un recipiente de sedimentación, o se separa usando una centrífuga (Van *et al.*, 2004).

Figura 4.3 Proceso de reacción en un reactor Batch (Van *et al.*, 2004).



El alcohol es removido tanto del glicerol como del éster utilizando un evaporador o una unidad flash. Los ésteres son neutralizados, lavados usando agua caliente y ligeramente acidificada para eliminar residuos de metanol y sales, y después se secan. El biodiesel acabado se transfiere a continuación a almacenamiento. La corriente de glicerol se neutraliza y se lava con poca agua. El glicerol se envía a la sección de refinación.

Para las grasas animales, el sistema se modifica ligeramente con la adición de un compartimento para la esterificación ácida así como para el almacenamiento del catalizador ácido. La materia prima a veces es secada (hasta 0,4% de agua) y se filtra antes de cargar el tanque de esterificación ácida. El ácido sulfúrico y la mezcla de metanol es añadida y el sistema es agitado. Se utilizan temperaturas similares para la transesterificación y en algunas ocasiones se presuriza el sistema o se añade un co-disolvente; el glicerol no es producido. Si se utiliza un tratamiento con ácido en dos etapas, la agitación se suspende hasta que la fase de metanol es separada y removida. Se añade metanol fresco y ácido sulfúrico y se reanuda la agitación.

Una vez que la conversión de los ácidos grasos en ésteres metílicos ha alcanzado el equilibrio, la mezcla de metanol/agua/ácido es removida por decantación o con una centrifugadora. La mezcla restante es neutralizada o enviada directamente a transesterificación donde se neutralizará usando un exceso de catalizadores básicos. Los ácidos grasos libres restantes se convierten en jabones en la etapa de transesterificación.

4.3.2 Procesamiento continuó

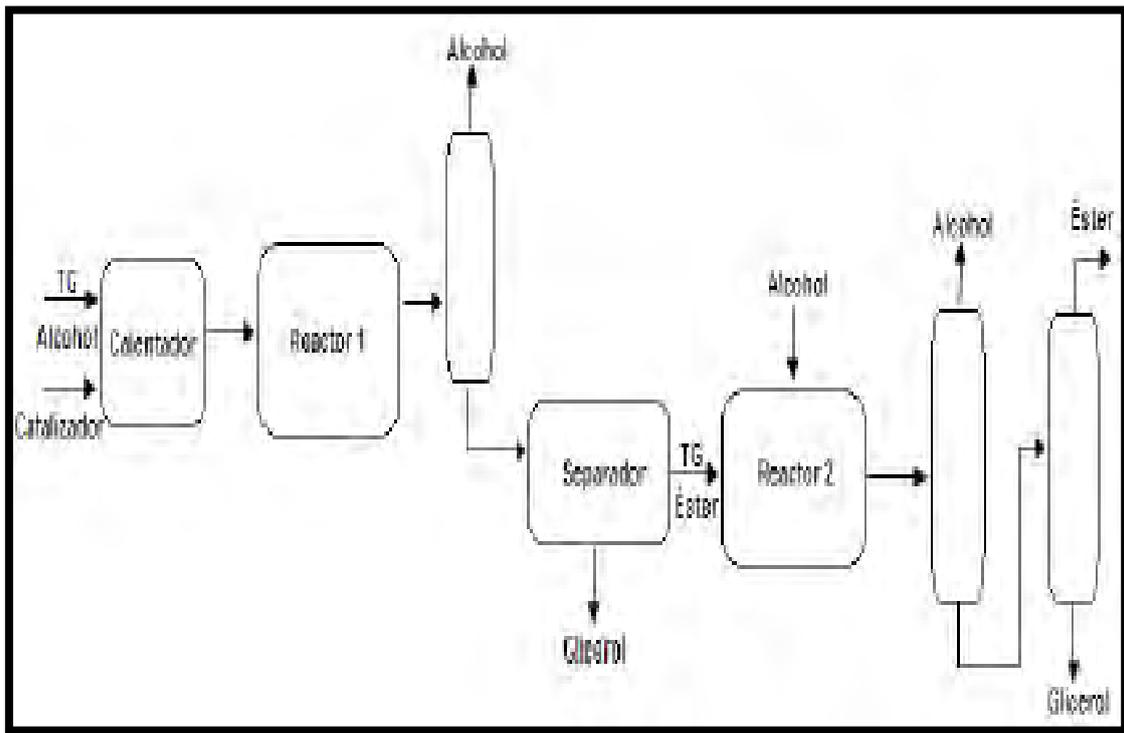
Una variación del proceso por lotes es el uso de reactores continuos de tanque agitado (CSTR) en serie. Los CSTR pueden variar en volumen para permitir un tiempo de residencia más largo en el CSTR 1 y lograr un mayor grado de reacción. Después de que el producto inicial (glicerol) se decanta, la reacción en CSTR 2 es más rápida, hasta completar el 98%.

Un elemento esencial en el diseño de un CSTR es la suficiente entrada de mezcla para mantener una agitación constante. Esto tiene el efecto de aumentar la dispersión del glicerol en la fase de éster. El resultado es que el tiempo requerido para la fase de separación se extiende.

Existen varios procesos que utilizan un mezclado intenso, ya sea desde las bombas o mezcladores inmóviles, al inicio de la reacción de esterificación. En lugar de permitir tiempo para la reacción en un tanque agitado, el reactor es tubular. La mezcla de reacción se mueve a través de este tipo de reactor en un pistón continuo con poca mezcla en la dirección axial. Este tipo de reactor, denominado reactor de flujo de pistón (PFR), se comporta como si se tratara de una serie de pequeños CSTR juntos.

El resultado es un sistema continuo que requiere tiempos de residencia más cortos, tan bajos como de 6 a 10 minutos, para la próxima finalización de la reacción. Los PFR pueden organizarse, como se muestra en la Figura 5.2, para permitir la decantación del glicerol. A menudo, este tipo de reactor es operado a temperaturas y presiones elevadas para aumentar la velocidad de reacción (Van et al., 2004).

Figura 4.4 Sistema de reacción de flujo continuo (Van et al, 2004).



En la tabla 4.2 se muestra una comparación de las principales características de los procesos por lotes y sistema continuo, siendo el de sistema continuo el más favorable para la producción de biodiesel.

Tabla 4.2 Principales características del procesamiento por lotes y sistemas continuo.

Proceso	Características
Por Lotes	<p>Método más simple.</p> <p>Temperatura de operación ideal: 65 °C. Catalizador más utilizado: hidróxido de sodio.</p> <p>Homogeneización de la mezcla necesaria en el comienzo de la reacción.</p> <p>Tiempos de reacción: 20 minutos hasta más de una hora.</p> <p>El sistema se agita durante el tiempo de reacción.</p> <p>El alcohol es removido tanto del glicerol como del éster utilizando un evaporador o una unidad flash.</p> <p>Los ésteres son neutralizados, lavados, ligeramente y secados.</p> <p>El biodiesel acabado se almacena.</p> <p>Cuando la conversión de ácidos grasos en ésteres metílicos ha alcanzado el equilibrio, la mezcla de metanol/agua/ácido es removida por decantación o centrifugación.</p> <p>La mezcla restante es neutralizada usando un exceso de catalizadores básicos o enviada a transesterificación.</p> <p>Los ácidos grasos libres restantes se convierten en jabones en la transesterificación.</p>
Continuo	<p>Los CSTR pueden variar en volumen para permitir un tiempo de residencia más largo y lograr un mayor grado de reacción. Después de que el producto inicial (glicerol) se decanta, la reacción en CSTR 2 es más rápida.</p> <p>Un elemento esencial en el diseño de un CSTR es la entrada de mezcla para mantener una agitación constante.</p> <p>Varios procesos utilizan un mezclado intenso, ya sea desde las bombas o mezcladores inmóviles, al inicio de la reacción de esterificación.</p> <p>El resultado es un sistema continuo que requiere tiempos de residencia más cortos, tan bajos como de 6 a 10 minutos.</p> <p>Este tipo de reactor es operado a temperaturas y presiones elevadas para aumentar la velocidad de reacción.</p>

4.4 Etapas del proceso

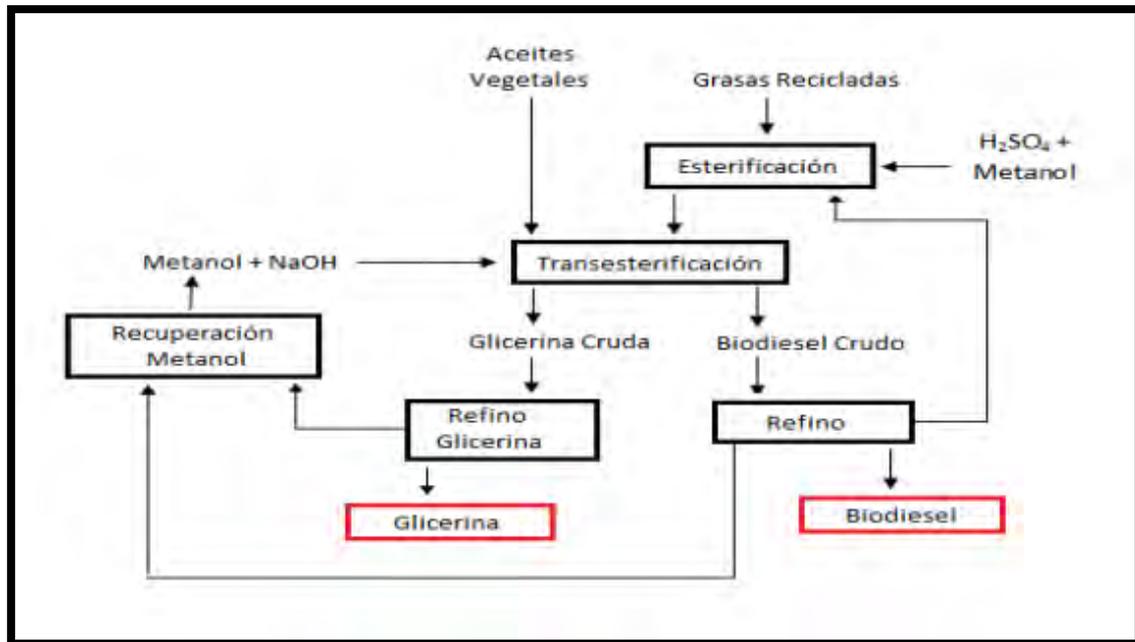
Para la obtención de biodiesel se requiere de 5 pasos (Mota, 2007):

1. Mezcla alcohol – catalizador: La base empleada como catalizador es disuelta previamente en el alcohol y se agita, para después mezclarse con el aceite (Arbeláez y Rivera, 2007).
2. Reacción de transesterificación: La mezcla anterior es agitada con el aceite provocando el contacto entre los reactivos para que pueda llevarse a cabo la reacción de transesterificación.
3. Separación: Cuando se completa la reacción se produce una mezcla de glicerina y alquilésteres (biodiesel), los cuales tienen que ser separados por decantación. El biodiesel flota en la parte superior, mientras que la glicerina y otros subproductos se sedimentan en el fondo pudiendo ser eliminados por un tratamiento de lavado. Otra opción de separación consiste en dejar que la mezcla repose durante una hora aproximadamente después de la reacción, manteniendo la temperatura por encima de 38 °C (100° F). Así, la glicerina se mantiene semilíquida y se deposita en el fondo. Luego de la separación se deberá decantar el biodiesel, eliminando la glicerina y los subproductos.
4. Lavado del biodiesel: Una vez que se separa el biodiesel de la glicerina, se necesita pasar por un tratamiento de lavado con el fin de retirar los residuos del alcohol y jabones formados por las reacciones secundarias.

En el primer lavado es mejor añadir un poco de ácido (puede ser acético diluido). Con esto, se consigue que el pH del biodiesel sea casi neutro porque ocurre una unión al hidróxido y se neutraliza. Se agrega agua al biodiesel, después de agitar con cuidado y se deja reposar entre 12 y 24 horas. El biodiesel limpio queda encima del agua y el agua con los jabones disueltos se sedimenta en el fondo. Este proceso puede repetirse dos o tres veces para retirar todos los jabones presentes.

El segundo lavado y el tercero pueden hacerse sólo con agua. Después del tercer lavado el agua que quede puede separarse calentando lentamente. Los jabones pueden aprovecharse, ya que lo que se produce es un jabón biodegradable que puede utilizarse en muchas aplicaciones industriales. El biodiesel tiene un aspecto más limpio y cristalino después de lavarlo. También se puede enfriar el biodiesel para que los restos de jabón y de hidróxido sedimenten más rápido (Arbeláez y Rivera, 2007).

Figura 4.5 Proceso general para la obtención de biodiesel (Mota, 2007)



PROCESO DE OBTENCION DE BODIESEL A PARTIR DE ACEITE POST CONSUMO MEDIANTE UNA CATALISIS BÁSICA.

El proceso de obtención de biodiesel que se propone en el presente trabajo consta de las siguientes etapas:

- Desacidificación.
- Obtención de biodiesel (reacción de transesterificación)
- Separación
- Lavado del biodiesel

Desacidificación.

Eliminación de los ácidos grasos libres: provenientes de la hidrólisis y del desdoblamiento enzimático -a cargo de las lipasas- de las grasas: Se basa en dos propiedades diferenciales del ácido libre respecto a los glicéridos:

1. Diferente reactividad de los ácidos grasos y los ésteres (neutralización química). Esta actividad se manifiesta, por ejemplo, ante las disoluciones de sosa diluida, que pueden neutralizar el ácido libre sin saponificar la grasa neutra. La adición de sosa forma, pues, jabón -sal sódica- con el ácido libre; el jabón formado, insoluble, absorbe colorantes y odorantes, lo que contribuye al refino. Pero hay el inconveniente, si la acidez inicial es elevada, que el mucho jabón formado favorece la aparición de emulsiones y el arrastre de grasa neutra en cantidad. Esto último impone una extracción posterior del jabón con disolvente (benzol).

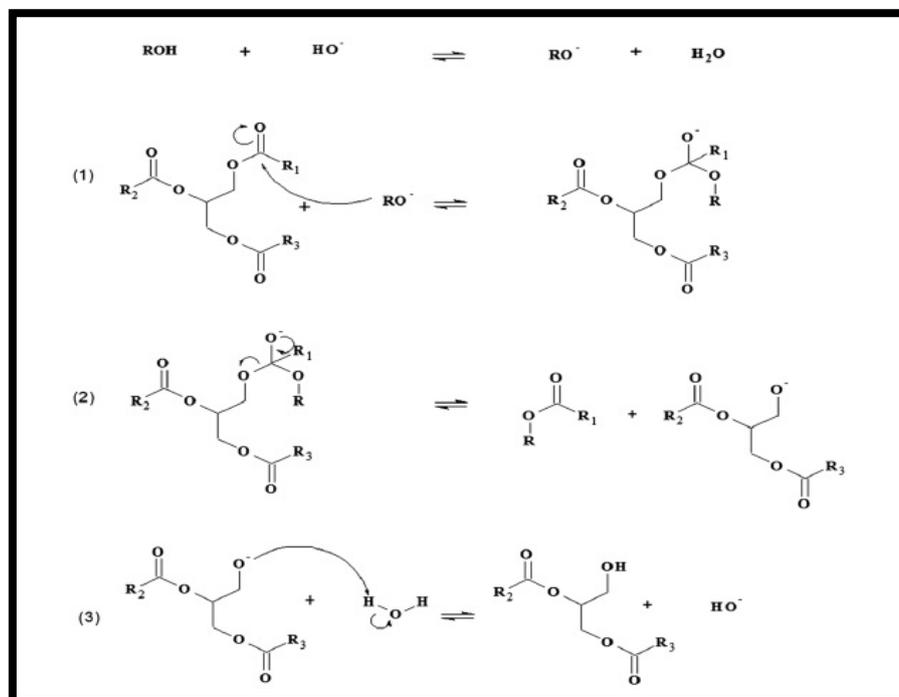
2. Diferencias de volatilidad (neutralización física). La temperatura perjudica a la grasa, el proceso de separación por volatilidad se practica en vacío y con arrastre mediante vapor inerte (H₂O, C₆H₆, etc.). Es el método introducido por Wecker. Al tiempo que se desacidifica el aceite, se desodoriza, pues las sustancias odorantes del aceite son de peso molecular aún menor que los ácidos grasos. Si la operación se prolonga mucho la grasa se colorea por descomposición seguida de polimerización. La destilación se practica ventajosamente por sistema "flash", para reducir la intensidad acortando el tiempo.

Obtención de biodiesel (reacción de transesterificación)

La reacción para la obtención de biodiesel, mejor conocida como transesterificación puede hacerse en fase líquida a partir del aceite obtenidos en presencia de agitación, calor, catalizador y alcoholisis (con metanol o etanol), cabe señalar que éste tipo de reacción es la más estudiada y dominada hasta el momento.

Los alcoholes empleados en el proceso son varios, entre los cuales se destacan: metanol, etanol, propanol y butanol de los cuales el metanol y el etanol son los más utilizados. A la reacción con metanol se le llama metanólisis y a la reacción con etanol se le llama etanólisis.

Figura 4.6 Reacción de Transesterificación empleando etanol (Mota, 2007)



En el transcurso de la reacción se da la formación de emulsiones, las cuales, en el caso de la metanólisis, son fáciles y rápidamente disueltas, formando una capa inferior rica en glicerol y una superior rica en ésteres metílicos (biodiesel). En contraste, en el caso de la etanólisis, estas emulsiones son más estables convirtiendo el proceso de separación y purificación de ésteres etílicos (biodiesel) en un proceso muy complejo. Cuando se emplean alcoholes como el etanol es más complicada la recuperación del alcohol puro dentro del mismo proceso, debido al azeótropo que forma con el agua.

Existe una variante del proceso de transesterificación la cual es casi instantánea ya que el desdoblamiento de los ácidos grasos se lleva a cabo bajo condiciones de alta presión y temperatura, pero como es de esperarse, el proceso no es factible por las grandes cantidades de energía requeridas.

Cabe señalar que el metanol a temperatura ambiente no es miscible en los triglicéridos por lo que es necesario realizar una agitación mecánica para favorecer la transferencia de masa. Los valores para la velocidad de agitación, empleados en diferentes investigaciones oscilan entre 150 y 600 rpm.

Según la estequiometría de la reacción, se requieren tres moles de alcohol y un mol de triglicérido para obtener tres moles de biodiesel y un mol de glicerina, pero se debe utilizar un exceso de alcohol para desplazar el equilibrio hacia la formación de ésteres (biodiesel).

La transesterificación puede ocurrir a diferentes temperaturas dependiendo de la materia prima que se emplee. A medida que la temperatura aumenta, también lo hace el rendimiento de la reacción, sin embargo, después de un determinado tiempo la diferencia entre temperaturas no afecta de manera considerable el rendimiento. Por lo general la reacción de transesterificación se lleva a cabo cerca del punto de ebullición del alcohol, para el metanol se tiene una temperatura promedio de 65 °C.

En cuanto al tiempo de reacción, a medida que éste crece, se incrementa la conversión de la reacción. Los valores de tiempo reportados en la literatura varían en el rango de 30 minutos hasta 20 horas.

Separación

La separación de las fases es una etapa importante en la producción del biodiesel. El proceso de refinación de los productos de la reacción de transesterificación puede elevar sustancialmente los costos de producción. De acuerdo con las especificaciones de la Unión Europea el porcentaje, el porcentaje de ácidos grasos libres, alcohol y agua deben ser mínimos de modo que la pureza del biodiesel sea mayor a 96.5%.

La mezcla típica del producto de una reacción de transesterificación contiene ésteres, monoglicéridos, diglicéridos, glicerol, alcohol y catalizador en varias concentraciones. En la separación el principal objetivo es remover los ésteres de esta mezcla a bajo costo y asegurar un producto de alta pureza. El glicerol en forma pura es visto como un producto secundario de la reacción, pero para mantener la competitividad del precio de producción, la remoción y la venta del glicerol es fundamental.

La mezcla restante, que contiene subproductos y alcohol debe tener el mínimo de contaminantes si la conversión fuera alta.

4.5 Planta piloto en desarrollo en el estado de Baja California

El desarrollo de esta planta piloto se realizó en el Estado de Baja California, con el objetivo de producir biodiesel a partir de los residuos de aceite vegetal generados por los comercios dedicados a la venta de alimentos, debido a que el estado cuenta con diversas zonas turísticas este tipo de establecimientos se ven en la necesidad de pagar a compañías para que se encarguen de la recolección de sus residuos, así mismo una de las principales fuentes de materia prima es una empresa dedicada a la elaboración de productos alimenticios, en específico galletas, la cual genera más de 1000 litros de aceite a la semana y con la cual ya se tiene un acuerdo previo para la captación de sus residuos.

La instalación de los equipos se realizó en un terreno adquirido para dicho fin cuyas dimensiones no son especificadas en este proyecto de investigación.

Los equipos para la producción de biodiesel fueron comprados a la empresa, SOLBEN, dedicada a la producción y desarrollo de tecnología para la producción de biodiesel a pequeña escala. El equipo adquirido para la producción del biodiesel fue el MB-400.

Características técnicas del equipo:

- Dimensiones: 140X166X193cm (Largo, Ancho, Alto)
- Capacidad: 400 lts/día
- Potencia Máxima: 6000 W
- Voltaje: 220 V
- Corriente Máxima: 27 A
- Pastilla de Protección: 30 A
- Presión Neumática: 90psi
- Consumo Neumático Máximo: 75CFM

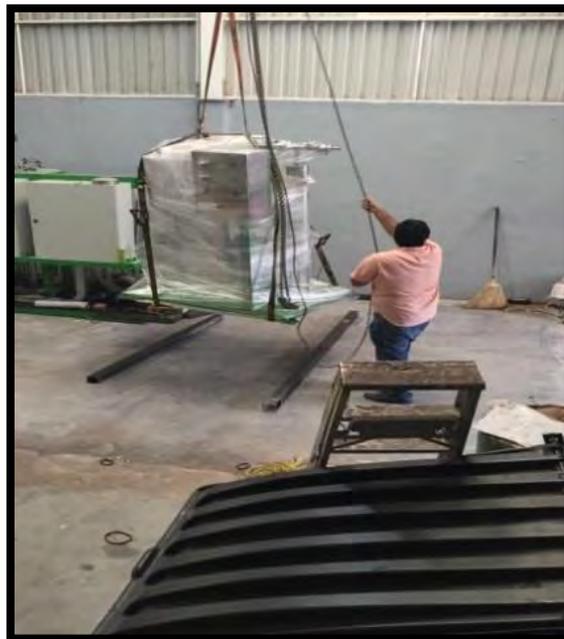
Figura 4.7 Equipo para la producción de Biodiesel MB 400



Este equipo de proceso cuenta con una capacidad de procesamiento de 400l/d y consta de los siguientes equipos;

- Un reactor químico: El cual es un dispositivo donde ocurre un cambio en la composición y transferencia de energía, debido a una reacción química.
- Un gabinete de control: Desde este gabinete se controlan las funciones de paro y arranque del reactor, las bombas neumáticas y centrifugas, así como la temperatura dentro del sistema.
- Una columna de intercambio iónico: El intercambio iónico es una operación unitaria, que tienen como función la separación, la cual está basada en la transferencia de materia fluido-sólido, este proceso se lleva dentro de una columna de intercambio iónico, la cual contiene resinas de intercambio iónico capaces de cumplir varias funciones como: descalcificación, desnitración, desionización, desnitración. Dependiendo de la aplicación a la que se destinen existen diferentes tipos.
- Una bomba centrifuga: Una bomba centrifuga consiste en un rodete que produce una carga de presión por la rotación del mismo dentro de una cubierta.
- Una bomba neumática: está basada en el movimiento de sus piezas gracias a aire comprimido, suministrado por un equipo compresor, recibe energía mecánica y la convierte en energía que un fluido adquiere en forma de presión, de posición o de velocidad.

Figura 4.8 Instalación de equipo para la producción de Biodiesel MB 400



Etapas del Proceso: Pre calentamiento.

El proceso comienza con el llenado del reactor con el aceite vegetal mediante el encendido de la bomba centrífuga hasta alcanzar el nivel óptimo.

Una vez llegado a este punto se enciende el controlador de temperatura y se comienza a recircular el aceite dentro del reactor para lograr el pre calentamiento.

Reacción de transesterificación.

Una vez alcanzada la temperatura de pre calentado, se lleva introduce al reactor el alcohol, en este caso metanol, para que se lleva a cabo la reacción de transesterificación de la cual obtendremos biodiesel y glicerina.

Figura 4.9 Equipo adquirido para la producción de Biodiesel MB 400



Separación

Una vez terminada la reacción se apaga la bomba centrífuga y se deja sedimentar el producto de la reacción obteniendo así dos fases, en la parte inferior se encontrara la glicerina debido a su densidad y en la parte superior quedara el biodiesel, abriendo una válvula que se encuentra localizada en la parte inferior del reactor se decanta la glicerina y se deja dentro del reactor el biodiesel sin refinar.

Refinación del biodiesel

Una vez que se han separado el biodiesel y la glicerina se hace pasar 15 minutos el biodiesel por una columna de intercambio iónico, para eliminar las impurezas que se encuentran en el biodiesel y se obtiene el biodiesel limpio, el cual debe analizarse al final para asegurarse que cumpla con los requerimientos y las especificaciones establecidos.

4.6 Características del producto final

La definición de biodiesel propuesta por las especificaciones ASTM (American Society for Testing and Material Standard, asociación internacional de normativa de calidad) lo describe como ésteres monoalquílicos de ácidos grasos de cadena larga derivados de lípidos renovables tales como aceites vegetales o grasas de animales, y que se emplean en motores de ignición de compresión. Sin embargo, los ésteres más utilizados, como veremos más adelante, son los de metanol y etanol (obtenidos a partir de la transesterificación de cualquier tipo de aceites vegetales o grasas animales o de la esterificación de los ácidos grasos) debido a su bajo costo y sus ventajas químicas y físicas.

En cuanto a la utilización del biodiesel como combustible de automoción, ha de señalarse que las características de los ésteres son más parecidas a las del diesel que las del aceite vegetal sin modificar. La viscosidad del éster es dos veces superior a la del diesel frente a diez veces ó más de la del aceite crudo; además el índice de cetano de los ésteres es superior, siendo los valores adecuados para su uso como combustible. La ASTM ha especificado distintas pruebas que se deben realizar a los combustibles para asegurar su correcto funcionamiento. A continuación se enumeran las especificaciones establecidas para el biodiesel y los requisitos para los combustibles minerales de automoción que se encuentran recogidas en la norma europea EN-590

Densidad: Esta propiedad depende de la materia prima utilizada para su producción. Un exceso de metanol hace disminuir la densidad, situación que causa problemas al motor.

Viscosidad: La viscosidad es una medida de la fricción interna entre moléculas, o de la resistencia a fluir de los líquidos. La transesterificación disminuye la viscosidad de los aceites, que es hasta 15 veces superior a la del diesel. Una elevada viscosidad puede provocar problemas en inyectores y sistema de bombeo del motor.

Número de cetano: El número de cetano, mide la disponibilidad de un combustible a la autoignición cuando es inyectado al motor. Un número alto de cetano implica un arranque más fácil, menor temperatura y unos gases más blancos.

Punto de inflamación: Su elevado punto de inflamación en comparación con el de diesel (51°C) lo hace de más fácil manejo, transporte y almacenamiento. Una baja temperatura en esta propiedad está dada por un residuo elevado de metanol.

Contenido de azufre: Un nivel alto de azufre en el biodiesel provoca emisiones de dióxido de azufre, disminuyendo lubricidad y por tanto la vida del motor.

Contenido de cenizas: Formadas por restos de jabón y catalizador, conducen a la saturación del filtro y al desgaste en diversas partes del motor.

Contaminación total: Son restos de jabón formados en la reacción, estos provocan abrasión en el motor.

Efecto de corrosión al cobre: Los ácidos grasos libres guardan una relación con la acidez, pudiendo provocar problemas de corrosión en algunos materiales. El biodiesel es poco corrosivo.

Contenido de metanol: El exceso de metanol puede provocar una baja temperatura de inflamación y corrosión en piezas de aluminio y zinc, también reduce el índice de cetano y la lubricidad.

Contenido de glicerina total: Es la suma de la glicerina contenida en los triglicéridos y la formada en el proceso. Un nivel bajo indica una buena transformación del aceite en éster.

Índice de yodo: Indica el número de dobles enlaces en el biodiesel, cuantificando su grado de insaturación, es decir está relacionado con su viscosidad y número de cetano.

Contenido de agua: Puede estar disuelta o no, puede causar corrosión si no está disuelta, así como crecimiento bacteriológico dentro del motor.

Tabla 4.3 Principales características del procesamiento por lotes y sistemas continuo.

Propiedad	Unidad	Mínimo	Máximo
Contenido en éster	%(m/m)	96.5	
Densidad a 15°C	Kg/m ³	860	900
Viscosidad a 40°C	mm ² /g	3.50	5.00
Punto de inflamación	°C	120	-
Contenido de azufre	mg/Kg	-	10.0
Residuo de carbón (en 10% de residuo destilado)	%(m/m)	-	0.30
Índice de cetano	mg/Kg	51.0	
Contenido de cenizas sulfatadas	%(m/m)	-	0.02
Contenido en agua	mg/Kg	-	500
Contaminación total	mg/Kg	-	24
Corrosión de la tira de cobre (3h a 50°C)	Clasificación		
Estabilidad a la oxidación 110°C	Horas	6.0	-
Índice de ácido	mg KOH/g		0.50
Índice de yodo	g de yodo/100 g		120
Éster de metilo de ácido linoléico	%(m/m)		12.0
Ésteres de metilo poli-insaturados(≥a 4 dobles enlaces)	%(m/m)		1
Contenido de metanol	%(m/m)		0.20
Contenido en monoglicéridos	%(m/m)		0.80
Contenido en diglicéridos	%(m/m)		0.20
Contenido en triglicéridos	%(m/m)		0.20
Glicerol libre	%(m/m)		0.02
Glicerol total	%(m/m)		0.25
Metales del grupo I (Na+K)	mg/Kg		5.0
Metales del grupo II (Ca+Mg)	mg/Kg		5.0
Contenido de fósforo	mg/Kg		10.0

Capítulo V
Impacto ambiental

Capítulo V Impacto ambiental

5.1 Emisiones de contaminantes generados por el biodiesel

En Estados Unidos, la Organización de Protección del Medio Ambiente (EPA) ha realizado una evaluación completa al biodiesel sobre las emisiones de gases y sus efectos potenciales sobre la salud de las personas. En esta evaluación se incluyen los protocolos de pruebas de emisiones más rigurosos que existen para la certificación de combustibles y sus derivados. Los datos reunidos forman el inventario actual más extenso con el propósito de dar a conocer los efectos adversos que los combustibles tienen sobre el medio ambiente y la salud; así como los estándares primarios establecidos para proteger la salud pública y los estándares secundarios para proteger otros aspectos, tales como prevenir el daño de materiales, prevenir el daño a las cosechas y vegetación, o asegurar visibilidad ambiental (dieselverde, S.A.). Los resultados de dicha evaluación se muestran en las Tablas 6.1 y 6.2.

La producción de ozono (niebla tóxica) por el uso de hidrocarburos es notablemente menor en el biodiesel que en el diesel convencional, sobre todo si se utiliza B100. La formación de ozono en emisiones de biodiesel es un 50 % menor que en emisiones de diesel convencional. Si se utiliza biodiesel puro (B100), las emisiones del azufre y sulfatos son prácticamente eliminadas, lo cual evita la formación de lluvia ácida (Espinoza y Palmay, 2009).

Tabla 5.1 Emisiones generadas por el biodiesel (Ciria, 2008).

Tipo de Emisión	B 100 (%) (kg/100km)	B 30(%) (kg/100km)	Gasóleo (kg/100km)
HC	0.03	0.04	0.04
CO	0.37	0.43	0.46
Partículas en suspensión	0.62	1.48	1.85
Nox	2.73	3.37	3.64
CO ₂	0.87	3.53	4.67
SO ₂	0.14	1.14	1.62

La EPA ha determinado seis "contaminantes de criterio" como indicadores de la calidad de aire. Para cada uno de ellos se ha establecido una concentración máxima que, si se rebasa el límite, pueden ocurrir efectos adversos a la salud humana.

Los resultados de pruebas de emisiones de motores que utilizan biodiesel son notablemente inferiores en estos seis contaminantes de criterio que son: (Stratta, 2000).

- Monóxido de carbono: 50% menos que el diesel de petróleo.
- Micro partículas (más pequeñas que 10 micrones), 47% menos
- Hidrocarburos – Ozono, se tiene una reducción de hasta un 50 %
- Óxidos de Nitrógeno, estas emisiones aumentan o disminuyen un +/- 2 % dependiendo del tipo de motor que se tenga. Pero la ausencia de azufre en el biodiesel permite la aplicación de tecnologías para su control que no pueden ser utilizadas con diesel convencional.
- Dióxido de azufre, eliminados en su totalidad.
- Plomo, son eliminados prácticamente en su totalidad.

5.2 Comparación, combustible fósil vs biodiesel

Diferentes estudios han demostrado que el biodiesel reduce substancialmente la emisión de la mayoría de gases y partículas contaminantes de la atmósfera, como se puede apreciar en la tabla 6.2. Al ser un combustible oxigenado, el biodiesel tiene una combustión más completa que el diesel.

Tabla 5.2 Variaciones de las emisiones contaminantes el biodiesel respecto al diesel convencional

Agentes contaminantes de la atmósfera	Variación de emisiones	
	Durante la combustión (%)	Total (%)
CO	-46	-35
CH₄	0	-3
N₂O	0	-66
Hidrocarburos (sin incluir CH₄)	-37	238
Hidrocarburos (no especificados)	0	-39
Hidrocarburos policíclicos aromáticos	0	-80
Hidrocarburos policíclicos aromáticos nitrogenados	0	-90
Benceno	0	-96
Formaldehído	0	-96
PM10	-68	-45
Partículas no especificadas	0	-25
SOx	-100	-8
NOx	9	13
HCl	0	14
HF	0	-16

Como se observa de la anterior tabla, el biodiesel reduce las emisiones de partículas sólidas menores a 10 micrones (PM10), monóxido de carbono (CO) y óxidos de azufre (SOx), peligrosos agentes contaminantes. La Environmental Protection Agency (EPA, 2002) en un estudio compilatorio de diversas investigaciones sobre emisiones vehiculares con biodiesel, concluyó que las emisiones vehiculares de material particulado se reducían en un 47% cuando se usaba biodiesel, y las de monóxido de carbono en un 48%. En estudios de biodiesel de soya en autobuses de transporte urbano, se han observado que las emisiones a lo largo del ciclo de vida del biodiesel se reducen en un 44%, 35% y 8% para PM10, CO y SOx, respectivamente.

En el caso de las emisiones durante la combustión, las reducciones son más significativas: 68% para las PM10, 46% el CO y 100% los SOx, ya que el biodiesel no contiene azufre. Estudios realizados para el National Renewable Energy Laboratory de los Estados Unidos encontraron que las emisiones de material particulado dependen del contenido de oxígeno del combustible.

Analizando las emisiones de biodiesel proveniente de diferentes materias primas, ellos hallaron que todos reducen la emisión de partículas en comparación con el diesel. Para biodiesel con un índice de cetano mayor a 45 aproximadamente, la reducción en PM fue proporcional al contenido de oxígeno. Para biodiesel con número de cetano menor a 45, la reducción fue menor. Asimismo, comparando ésteres metílicos y etílicos, no encontraron diferencias consistentes en sus emisiones. Los índices de peróxido y de acidez, así como el contenido de glicerina del biodiesel tampoco tuvieron ningún efecto sobre las emisiones de CO, NO_x, SO₂, HCs totales y PM.

En el caso de los hidrocarburos (HC), si bien el biodiesel produce mayor cantidad en su ciclo de vida, durante la combustión, las emisiones disminuyen en un 37%. El estudio de la EPA (2002) encontró que las emisiones de HC durante la combustión disminuyen un 67%. Las emisiones del biodiesel también tienen niveles menores de hidrocarburos policíclicos aromáticos (HPA, posibles cancerígenos), debido a que el biodiesel no contiene compuestos aromáticos de ningún tipo. También se pueden observar significativas reducciones en los compuestos aldehídicos, especialmente el formaldehído y el acetaldehído. En lo que respecta al benceno, las emisiones se reducen prácticamente en un 95% en todo el ciclo de vida del biodiesel, con una combustión totalmente libre de este compuesto cancerígeno.

La combustión del biodiesel produce menos humo visible y menos olores nocivos que el diesel derivado del petróleo. Un nicho específico para el uso de biodiesel es el de las minas y las construcciones subterráneas, como el trabajo en túneles y socavones. Países como Estados Unidos y Austria han promovido el biodiesel en este tipo de trabajos, ya que al ser sus emisiones más limpias que las del diesel, contribuyen a reducir los riesgos a la salud ocupacional de los trabajadores.

El biodiesel prácticamente no es tóxico en caso de ingestión, tanto para los peces como para los mamíferos. La concentración de biodiesel para que llegue a ser letal por ingestión oral es muy elevada, alrededor de 17,4 g/Kg de peso corporal, lo cual significa que una persona de 80 kg tendría que tomar alrededor de 1.6 L de biodiesel para que tenga efectos mortales. La sal común es aproximadamente diez veces más tóxica. El impacto en la salud humana es un criterio importante cuando se considera la idoneidad de un combustible para aplicaciones comerciales.

En cuanto a la toxicidad acuática, según el National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) de los Estados Unidos, ésta es muy baja. Se requieren concentraciones muy altas en el agua, mayores a 1.000 mg/L, para llegar a niveles letales. Por ello el biodiesel es bastante inofensivo para la fauna acuática. Además el biodiesel es altamente biodegradable en el agua. En estudios de la Universidad de Idaho se encontró que el biodiesel se degrada a un ritmo muy superior al del diesel convencional e incluso tan rápido como la dextrosa (azúcar). En una prueba en solución acuosa, a los 28 días se había degradado el 95% del biodiesel, mientras que el diesel convencional se había degradado en un 40%. En una segunda prueba, esta vez en ambientes acuáticos, el 87% del biodiesel se degradó en 28 días, mientras que la degradación del diesel sólo fue del orden del 26%.

Estas características convierten al biodiesel en el combustible ideal para embarcaciones fluviales, especialmente en zonas acuáticas sensibles y/o protegidas. Los combustibles fósiles están muy relacionados con el tema de la contaminación del agua; desde los derrames petroleros en océanos, pasando por la contaminación del agua del subsuelo debido a los tanques subterráneos hasta llegar a la contaminación de los lagos y ríos debido a las fugas de combustible de los motores de las embarcaciones. El uso del biodiesel puede ayudar a proteger y mejorar la calidad del agua en diversos ambientes. Asimismo, el biodiesel es menos tóxico y más biodegradable que el diesel en el suelo. En un estudio realizado recientemente, se encontró que el combustible diesel es tóxico a una concentración de 3% en peso en el suelo, mientras que el biodiesel no muestra toxicidad hasta concentraciones de 12% en peso (esta fue la máxima concentración probada en el estudio). Igualmente, se observó que el biodiesel es más fácilmente degradado por los microorganismos del suelo: mientras que 80% del biodiesel fue completamente biodegradado, sólo 61% del diesel lo fue. Estas características también señalan al biodiesel como combustible apropiado en zonas agrícolas o rurales donde la contaminación del suelo por derrames es más frecuente.

Algunas de las ventajas del biodiesel con respecto al petrodiesel son (Knothe, 2010):

- Su punto de inflamación es relativamente alto (150°C).
- En el proceso de combustión es entre el 40% y el 80% menos contaminante que el petrodiesel.
- Tiene mayor lubricidad que permite alargar la vida del motor y reducir su ruido (con una mezcla de 1% de biodiesel puede mejorar la lubricidad en un 30%).
- Presenta menos problemas para su manipulación y almacenamiento, debido a que su punto de ebullición es mayor al del diesel convencional.
- Disminuye la dependencia del petróleo como combustible.
- Es prácticamente biodegradable en el agua, por lo que si ocurre un derrame su degradación será mucho más rápida que la del diesel convencional.
- Su origen proviene de fuentes renovables y aceites reciclados.
- Reduce las emisiones gases de efecto invernadero a la atmósfera, así como la contaminación en el suelo y agua.
- No es tóxico, tanto en peces como en mamíferos.
- Aporta el triple de energía de la que se necesita para su producción.

Este biocombustible puede utilizarse puro (B100 conocido como “gasoil verde”), o se puede mezclar con diesel convencional en diferentes concentraciones (Bornstein, 2008). Una de las concentraciones más utilizada es del 20 %, es decir, se requieren 20 partes del biodiesel por 80 de diesel regular, pero también se pueden utilizar mezclas con el 5 % y el 10 %. Se encuentra registrado como combustible y como aditivo para combustibles en la Agencia de Protección del Medio Ambiente (EnvironmentProtection Agency, EPA) en los Estados Unidos (Caballero et al., 2012).

5.3 Repercusión ambiental

Según la Agencia Internacional de Energía (IEA, 2008), la demanda de la energía deberá crecer en más de un 50% hasta el año 2030. Ese gran aumento en la demanda de energía tendrá, naturalmente, implicaciones directas en la garantía de provisión, costo y sustentabilidad ambiental de la generación de energía. Este escenario ha despertado el interés en el uso de combustibles no fósiles, renovables y menos contaminantes. Aunque el petróleo sea una fuente energética con calidades intrínsecas como de relativamente fácil extracción, buena transportabilidad, versatilidad y bajo costo, ese es un producto de la transformación de la biomasa a lo largo de 200 millones de años y su cantidad es finita.

Una vez que aproximadamente un 27% de la energía consumida en el mundo es usada para transporte, y este es el sector que más contribuye para la contaminación ambiental, ha sido dada prioridad a la investigación y aplicación de alternativas para esta área.

A pesar de que la producción de biocombustibles sigue siendo reducida en el contexto de la demanda total de energía, sí resulta significativa en lo que respecta a los niveles actuales de producción agrícola. Deben reconocerse las posibles implicaciones medioambientales y sociales de su continuo crecimiento. La reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero es, por ejemplo, uno de los objetivos explícitos de algunas medidas reglamentarias de apoyo a la producción de biocombustibles. La producción agrícola provoca en general ciertos efectos negativos inesperados en la tierra, el agua y la biodiversidad que resultan especialmente preocupantes en relación con los biocombustibles. La magnitud de estos efectos depende de la manera en que se producen y se procesan las materias primas para biocombustibles, de la escala de la producción.

Alrededor del mundo, el biodiesel se ha producido mayoritariamente a partir aceites vegetales comestibles. Actualmente más del 95% del biodiesel es producido a partir de aceites comestibles los cuales se encuentran fácilmente disponibles en la industria agrícola. Sin embargo, la producción continua y a gran escala de biodiesel a partir de aceites comestibles se ha convertido recientemente en una gran preocupación, pues se teme que a largo plazo pudiese afectar el cultivo de alimentos.

Es una fuente de energía limpia, renovable, de calidad y económicamente viable, que además contribuye a la conservación del medio ambiente, por lo que representa una alternativa a los combustibles fósiles.

Se trata de un combustible biodegradable, cuyo uso disminuye las emisiones de gases de efecto invernadero y óxidos de azufre. También reduce entre 60% y 90% la cantidad de hidrocarburos totales no quemados. Puede ser producido económicamente en un amplio rango de lugares tanto rurales como urbanos y en diferentes escalas pequeñas para autoconsumo o comerciales.

El contenido energético del etanol es de 67% con respecto a aquel de la gasolina, mientras que el del biodiésel es de 90% en relación con el del diésel proveniente del petróleo.

Las emisiones de gases invernadero, monóxido de carbono y particulados podrían reducirse de forma significativa. Y los biocombustibles también mejoran el desempeño de los vehículos; de hecho, la lubricidad del biodiésel extiende la vida de los motores diésel. Hay potenciales beneficios para el desarrollo agrícola y rural, incluyendo nuevos trabajos y la generación de ingreso. Además, moverse hacia los biocombustibles creará nuevas industrias y traerá un aumento en la actividad económica.

Los biocombustibles son renovables y tanto el bioetanol, como el biodiésel son de combustión limpia. Otro aspecto importante es que pueden comercializarse más fácil que otras alternativas, porque pueden almacenarse y distribuirse usando infraestructura existente.

Debemos tener en cuenta que cuando se busca determinada disponibilidad de biomasa energética en un país o región, es importante considerar las restricciones de orden ecológica, económica, social, política y tecnológica. Las restricciones ecológicas están asociadas a la preservación del medio ambiente y a la calidad de vida. Las limitaciones económicas son analizadas en dos niveles. En primero lugar, es necesario saber si la biomasa a ser explorada energéticamente no tiene otros usos más económicos (industrial o alimenticio). En segundo lugar, si todos los costos de la biomasa explotada son compatibles con los beneficios energéticos y comparables con los demás combustibles. Finalmente, las restricciones tecnológicas se deben a la existencia o no de procesos confiables y operaciones para conversión de la biomasa en combustibles de uso más general.

Conclusiones

▪El uso de los biocombustibles es el futuro de los energéticos, esto debido a la necesidad que se tiene en la actualidad dado que continuará incrementándose con el paso de los años de producir energías alternativas a la energía fósil capaces de satisfacer la demanda mundial, dicha energía se prevé que sea una energía limpia, capaz de producirse a escala industrial.

▪Como alternativa a esta problemática han surgido nuevos procesos en el campo del biodiesel que buscan sustituir esa materia prima por materia reciclada, como el caso del aceite vegetal post consumo, aceites de motor usados, restos de materia orgánica presente en los RSU y producción de biodiesel a partir de algas.

▪Como se ha estudiado en este trabajo la producción de biodiesel a partir de aceite post consumo es un proceso que se puede desarrollar a nivel industrial y a nivel micro-industrial, lo cual en países como México, en los cuales aún no contamos con una política que apoye y fomente el uso y producción de biocombustibles, es una alternativa para ingresar en este mercado, ya que como se menciona, un proyecto micro-industrial requiere de una inversión relativamente pequeña.

▪De forma específica una planta de biodiesel como la que se analiza en este trabajo es capaz de procesar 400 lt/día, considerando que se trabajara 5 días a la semana tenemos una capacidad de procesamiento de 2400lt semanales y una capacidad anual de procesamiento de 124,800 lt. Con esto generamos un impacto ambiental positivo de forma inmediata ya que se están retirando más de 100,000 lt de aceite post consumo en el primer año de operación de la planta, este es un punto a destacar ya que durante el desarrollo de este trabajo de tesis, se observó que solo 3 Estados en la republica cuentan con sistema de drenaje individual para sistemas pluviales y otro más para el sistema de drenaje común, los cuales son el Estado de México, Jalisco y Nuevo León. Partiendo de este hecho se asume que este aceite post consumo que no recibe un tratamiento adecuado desahoga directamente en el sistema de aguas en Baja California cuyo destino final es el mar.

▪Cabe destacar que el proceso se encuentra en su etapa inicial por lo que se prevé el crecimiento de la planta, a mediano plazo adquiriendo otro equipo de procesamiento con una capacidad de 1000lt/día. Una vez adquirido la capacidad de producción aumentaría a 436,000lt anuales.

▪Podemos concluir que aún nos queda camino por recorrer para que los biocombustibles puedan sustituir a los combustibles fósiles, en la actualidad se están desarrollando nuevas tecnologías y nuevas alternativas que están encaminadas a en un futuro dar este gran paso, por lo cual podemos concluir este trabajo de investigación afirmando lo siguiente.

La producción de biocombustibles continuará en incremento debido a diversos factores:

- Demanda mundial en constante crecimiento.
- Impulso al desarrollo regional.
- Seguridad energética.
- Contribución para reducir emisiones contaminantes y reducir el impacto negativo al medio ambiente.

Glosario

Biotecnología: Toda aplicación tecnológica que utilice recursos biológicos, organismos vivos o sus derivados para la creación o modificación de productos o procesos para usos específicos.

Combustión: Es un proceso químico en el cual una sustancia reacciona rápidamente con el oxígeno y desprende calor. La sustancia original se llama el combustible, y la fuente de oxígeno se llama el oxidante. El combustible puede ser un sólido, líquido o gas. El oxidante, del mismo modo, podría ser un sólido, líquido o gas.

Contaminación: La presencia en el ambiente de uno o más contaminantes o de cualquier combinación de ellos que cause desequilibrio ecológico.

Contaminación Ambiental: Se denomina contaminación ambiental a la presencia en el ambiente de cualquier agente (físico, químico o biológico) o bien de una combinación de varios agentes en lugares, formas y concentraciones tales que sean o puedan ser nocivos para la salud, la seguridad o para el bienestar de la población, o bien, que puedan ser perjudiciales para la vida vegetal o animal, o impidan el uso normal de las propiedades y lugares de recreación y goce de los mismos.

Contaminante: Toda materia o energía en cualesquiera de sus estados físicos y formas, que al incorporarse o actuar en la atmósfera, agua, suelo, flora, fauna o cualquier elemento natural, altere o modifique su composición y condición natural.

Desarrollo Sustentable: El proceso evaluable mediante criterios e indicadores del carácter ambiental, económico y social que tiende a mejorar la calidad de vida y la productividad de las personas, que se funda en medidas apropiadas de preservación del equilibrio ecológico, protección del ambiente y aprovechamiento de recursos naturales, de manera que no se comprometa la satisfacción de las necesidades de las generaciones futuras.

Emisión: Liberación al ambiente de toda sustancia, en cualquiera de sus estados físicos, o cualquier tipo de energía, proveniente de una fuente.

Energético: Un recurso energético será aquella cosa, medio, que es plausible de utilizarse como fuente de energía eficiente, es decir, a través de él es posible conseguir de manera correcta y satisfactoria energía.

Enzima: Son biomoléculas especializadas en la catálisis de las reacciones químicas que tienen lugar en la célula. Son muy eficaces como catalizadores ya que son capaces de aumentar la velocidad de las reacciones químicas mucho más que cualquier catalizador artificial conocido, y además son altamente específicos ya que cada uno de ellos induce la transformación de un sólo tipo de sustancia y no de otras que se puedan encontrar en el medio de reacción.

Hidrocarburos: La palabra hidrocarburos designa un grupo de compuestos orgánicos constituidos principalmente por átomos de carbono e hidrógeno.

Impacto ambiental: Modificación del ambiente ocasionada por la acción del hombre o de la naturaleza.

Preservar: La acción de preservar consiste en cuidar, amparar o defender algo con anticipación, con el objetivo de evitar un eventual perjuicio o deterioro.

Reciclaje: El Reciclaje transforma materiales usados, que de otro modo serían simplemente desechos, en recursos útiles.

Recurso natural: El elemento natural susceptible de ser aprovechado en beneficio del hombre.

Residuo orgánico: Material de origen biológico que puede biodegradarse o transformarse en sustancias útiles para el hombre, mediante la acción de los microorganismos del suelo.

Bibliografía

Referencias Bibliográficas

- 1) **Al Costa, Biomasa y Biocombustibles;** (2013), Service Point. S. A., España.
- 2) **Arbeláez, A.M.; Rivera M.P.;** (2007) Diseño conceptual de un proceso para la obtención de biodiesel a partir de algunos aceites vegetales colombianos. Proyecto de Ingeniería. Departamento de Ingeniería de Procesos. Universidad Eafit. Medellín, Colombia.
- 3) **Azócar, L.; Ciudad, G.; Heipieper, H.; Navia, R.;** (2010), Biotechnological processes for biodiesel production using alternative oils. *ApplMicrobiolBiotechnol.* 88, 621-636.
- 4) **Benjumea, P.N.; Agudelo J.R.; Ríos L.A.;** (2009), Biodiésel: Producción, calidad y caracterización, 1ra edición, Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia, 154 pp.
- 5) **Caballero, E.A.; Vidal, J.C.; Morgan, C.A.; Espinosa, M.; Roblero, I.A.;** (2012). Aceites reciclados de cocina como materia prima de próxima generación para la obtención de biodiesel en Chiapas. CONCYTEG.
- 6) **David Phillips e Iván Restrepo;**(1985), La Basura: Consumo y desperdicio en el D.F., Centro de Eco desarrollo, México, D.F.
- 7) **Espinoza, A.J.; Palmay, P.G.,** (2009). “Diseño y construcción de un reactor batch para la obtención por transesterificación de biodiesel a partir de aceite de cocina reciclado”. Ingeniería Química. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba, Ecuador.

- 8) **González, A. F.; Jiménez, I.C.; Rodríguez, M.; Restrepo, S.; Gómez, J.M.,** (2008). Biocombustibles de segunda generación y Biodiesel: Una mirada a la contribución de la Universidad de los Andes. Rev.
- 9) **Gustavo Viniegra G. y Oscar Monroy H.;**(1990) A.G.T. Editor S.A., México.
- 10) **Javier García Brea, Jorge Morales de Labra, Manuel García Ramos;**(2013) ¿Qué hacemos para cambiar un modelo irracional por otra forma sostenible y democrática de cultura energética, Ediciones Akai, España.
- 11) **Margarita Delgado Rodríguez;**(2012), Optimización de las variables implicada en el proceso de compostaje de RSU, Universidad Internacional de Andalucía, España.
- 12) **Mariana Saidón;**(2011) Biocombustibles: Debates en América Latina, Editorial Academia Española, Alemania.
- 13) **María Pilar Cabildo Miranda, Rosa María ClamutVallespi, et al. ;**(1998), Reciclado y Tratamiento de Residuos, Librería UNED, España.
- 14) **Mota, D.A.; (2007).** Evaluación del método base – base con etanol para la obtención de biodiesel a partir de aceite oxidado de piñón (*jatropha curcas l.*) a nivel laboratorio. Ingeniería Química. Facultad de Ingeniería. Universidad de San Carlos. Guatemala,
- 15) **Omar Masera Cerutti (coordinador);** (2006), La Bioenergía en México, un catalizador para el desarrollo sustentable, Comisión Nacional Forestal, México.
- 16) **Sánchez, E.L.;** (2012). Perspectivas del proceso de producción de biodiesel de tercera generación. ChemicalEngineering.
- 17) **Serna, F.; Barrera, L.; Montiel, H.;** (2011). Impacto social y económico en el uso de biocombustibles. J. Technol. ManagInnov.
- 18) **Stratta, J.;** (2000). BIOCMBUSTIBLES: los aceites vegetales como constituyentes principales del biodiesel. Investigación y Desarrollo.
- 19) **Van, J.; Shanks, B.; Pruszko, R.; Clements, D.; Knothe, G.;** (2004). Biodiesel ProductionTechnology. NationalRenewableEnergyLaboratory. Estados Unidos.
- 20) **Víctor Gutiérrez Avedoy (coordinador);** (2006), Diagnostico básico para la gestión Integral, SEMARNAT-INE, México.
- 21) **Velasco, M. A.; Arriaga L. E.; Niño A.; Sampieri, A.; Pérez, A.;** (2009), Obtención de biodiesel a partir de aceite quemado de cocina por el método ácido-base.

- 22) **Zamarripa Colmenero, A.** 2009. Coordinador Nacional de la Red de Investigación e Innovación en Bioenergéticos. Ponencia: Situación actual de los biocombustibles en México.

Referencias en Línea

- 23) **Biodiesel: Producción y aplicaciones.**
[http://www.whitmandirectaction.org/downloads/documents/biodieselguide\(espagnol\).pdf](http://www.whitmandirectaction.org/downloads/documents/biodieselguide(espagnol).pdf). Consulta: 15/05/2016.
- 24) **Biodiesel: una alternativa energética ecosostenible.**
<http://www.plusformacion.com/Recursos/r/Biodiesel-una-alternativa-energetica-ecosostenible>. Consulta: 18/06/2016.
- 25) **Dieselverde, S.A.**, Emisiones de biodiesel.
http://www.dieselverde.com/docs/Emisiones_es.pdf, 23/04/13.
Consulta: 10/06/2016.
- 26) **Energías renovables para todos: Biocarburantes.**
<http://www.fenercom.com/pdf/publicaciones/cuadernos-energias-renovables-para-todos-biocarburantes.pdf>. Consulta: 13/05/2103
- 27) **Caracterización y aprovechamiento del aceite residual de frituras para la obtención de un combustible (Biodiesel).**
<http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/11059/1059/1/6626H565.pdf>.
Consulta: 22/05/2016
- 28) **Las grasas como materia prima**
http://somim.org.mx/articulos2010/memorias/memorias2009/pdfs/A5/A5_158.pdf
Consulta: 03/07/2016
- 29) **Evaluación energética de una planta de biodiesel**
http://somim.org.mx/articulos2010/memorias/memorias2009/pdfs/A5/A5_158.pdf
Consulta: 03/07/2016
- 30) **Planta de Biodiesel la Rabida**
http://www.bio-oils.com/wp-content/uploads/2014/02/Planta_de_Biodiesel_La_Rabida.pdf
Consulta: 12/07/16
- 31) **Residuos**
http://apps1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe_12/pdf/Cap7_residuos.pdf
Consulta 10/06/16

- 32) **Datos Estadísticos de Baja California**
<http://www.investinbaja.gob.mx/es/perfil/estadisticas>
Consulta 13/09/16
- 33) **Datos Estadísticos de RSU**
<http://www.sustenta.org.mx/3/promedio-diario-de-residuos-solidos-urbanos-recolectados-por-municipio-y-delegacion/>
Consulta 13/07/16
- 34) **Fundamentos de Evaluación de Impacto Ambiental**
<http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd51/fundamentos.pdf>
Consulta 18/07/16
- 35) **Guía para el cumplimiento de obligaciones contenidas en la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos y su Reglamento.**
<http://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/libros2009/CD002173.pdf>
Consulta: 12/05/2016
- 36) <http://www.inegi.org.mx/eventos/2015/Poblacion/doc/pMagaliHurtadodf> Consulta: 08/06/2016
- 37) http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5119506&fecha=13/11/2009 Consulta: 08/06/2016
- 38) <http://www.epa.gov/>
Consulta: 22/07/2016

Referencias Institucionales

- 39) **REGLAMENTO DE LA LEY GENERAL PARA LA PREVENCIÓN Y GESTIÓN INTEGRAL DE LOS RESIDUOS**
Texto vigente publicado en el Diario Oficial de la Federación el 30 de Noviembre de 2006.
Consulta: 10/05/2016.
- 40) **REGLAMENTO DE LA LEY GENERAL DEL EQUILIBRIO ECOLÓGICO Y LA PROTECCIÓN AL AMBIENTE**
Nueva Ley publicada en el Diario Oficial de la Federación el 28 de Enero de 1988. Última reforma publicada DOF 09-01-2015.
Consulta: 10/05/2016
- 41) DOF. NMX-AA-61-1985 Protección al Ambiente - Contaminación del Suelo-Residuos Sólidos Municipales- Determinación de la Generación. México. 1985.
Consulta: 05/06/2016