UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

INSTITUTO DE INGENIERIA

MAESTRÍA Y DOCTORADO
EN CIENCIAS E INGENIERÍA

ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DE PRODUCCIÓN DE ENERGÍA A PARTIR DE ACEITE VEGETAL RESIDUAL. CASO: SECTOR RESTAURANTERO

Tesis que para
obtener el grado de:
MAESTRO EN INGENIERÍA

Presenta:
MARCOS ALBERTO
CORONADO ORTEGA

DIRECTOR:
DRA. GISELA MONTERO ALPÍREZ

CODIRECTOR:
DR. OSVALDO LEYVA CAMACHO

MEXICALI, B.C. JUNIO DEL 2010

AGRADECIMIENTOS

Antes que nada quiero dar gracias a Dios por haberme permitido la terminación del presente trabajo. Posteriormente a todas aquellas personas e instituciones que me han apoyado a lo largo de esta aventura en el área de investigación, en especial:

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, por el apoyo financiero a través de la beca de estudios que me fue otorgada durante el periodo del posgrado.

A la UABC y al Instituto de Ingeniería por todas las oportunidades que me brindaron y que me permitieron realizar una estancia de investigación en la Universidad de Antioquia, ubicada en Medellín, Colombia.

A los sinodales: Dr. Jesús Francisco Sosa, Dr. Héctor Campbell, Dr. Alejandro Lambert, por revisar la presente tesis y sus contribuciones.

A mi familia: Mis padres por su incondicional apoyo en todos los aspectos, mis hermanos, y ma cherie Karla González.

También muestro mi más sincero agradecimiento hacia todos mis compañeros del grupo de biocombustibles, a Conrado García, Carlos Peñuelas, Karla Gorozave, Ana Vázquez, por toda la ayuda que me otorgaron, pero lo más importante su amistad.

Por último deseo hacer una mención y distinción especial a las personas que jugaron un papel fundamental en el desarrollo de este trabajo, y que gracias a ellos tuve un gran aprendizaje, mis directores de tesis, la Dra. Gisela Montero Alpírez y el Dr. Osvaldo Leyva Camacho. Personas de gran calidad humana, que siempre se dieron el tiempo de atenderme, resolver mis dudas con mucha paciencia y que mostraron una disposición ante todo. Gracias por todo el apoyo que me brindaron. Gracias totales.

CONTENIDO

LISTADO DE FIGURAS 5
LISTADO DE TABLAS 5
Resumen 6
1 INTRODUCCIÓN 9
1.1 Planteamiento del problema 9
1.2 Objetivos 11
1.2.1 Objetivo general 11
1.2.2 Objetivos específicos 11
1.3 Hipótesis 12
2 MARCO TEÓRICO 14
Panorama general del sector energético en México 14
2.1 Biomasa 15
2.2 Aceites vegetales y grasas 17
2.3 Usos de los aceites vegetales comestibles en la producción de biocombustibles 18
2.4 Aceites vegetales residuales 19
2.5 Biodiesel 21
2.6 Otros usos energéticos y no energéticos de los aceites vegetales 23
2.7 Estudios de inventarios de aceites vegetales residuales y desarrollos en la producción de biodiesel 27
2.7.1 Contexto global 27
2.7.2 Contexto nacional 28
2.7.3 Contexto Regional 30
2.8 Análisis de precios de aceites vegetales residuales 33
2.9 Problemática de taponamiento, disposición final de los AVR y costos asociados 33
3 MATERIALES Y MÉTODOS 37
3.1 Estudio para la estimación de la generación de AVR en el sector restaurantero de Mexicali (2008). 37
3.1.1 Caracterización del sector restaurantero 37
3.1.2 Tamaño de muestra 38
3.1.3 Instrumento de levantamiento de información 38
3.2 Distribución espacial sobre imagen satelital de los restaurantes en Mexicali. 39
3.3 Modelo de Simulación 39
4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN 43

4.1 Estudio para la estimación de la generación de AVR en el sector restaurantero de Mexicali (2008). 43
4.2 Distribución espacial sobre imagen satelital de los restaurantes en Mexicali 46
4.3 Modelo de simulación 47
4.4 Potencial energético de los AVR y uso de tierra 48
4.5 Potencial de producción de biodiesel y bioelectricidad a partir de AVR 48
5 CONCLUSIONES 50
6 REFERENCIAS 53
ANEXO A 56
"BIODIESEL A PARTIR DE ACEITE VEGETAL RESIDUAL: UNA OPORTUNIDAD PARA EL SECTOR TRANSPORTE PÚBLICO DE LA CIUDAD DE MEXICALI" 56
ANEXO B 97
MODELACIÓN DINÁMICA DE RESIDUOS OLEICOS, CASO DE ESTUDIO: SECTOR RESTAURANTERO, MEXICALI, BAJA CALIFORNIA, MÉXICO. 97
ANEXO C 109

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. Dinámica de crecimiento poblacional de Mexicali 10
Figura 2. Estructura de la producción de energía primaria en México, 2007 16
Figura 3. Molécula de glicerina y triglicérido.. 17
Figura 4. Disminución global de stock de aceites vegetal y producción de biodiesel 19
Figura 5. Reacción de transesterificación 22
Figura 6. Proporciones aproximadas de la reacción para obtener biodiesel 22
Figura 7. Ciclo del biodiesel 23
Figura 8. Plantas de biodiesel en EUA. 28
Figura 9. Estados de México con desarrollos en biodiesel 29
Figura 10. Causas por las que es nula la producción de biodiesel 31
Figura 11. Vactor 34
Figura 12. Transferencia de contaminantes 34
Figura 13. Esquema general del modelo desarrollado en Stella 41
Figura 14. Disposición del residuo 44
Figura 15. Destino de los aceites vegetales residuales 45
Figura 16. Distribución espacial de restaurantes en Mexicali 46
Figura 17. Comportamiento de la generación de AVR, periodo 2008-2017 47

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Volúmenes y porcentajes de generación de AVR por categoría. 43
Tabla 2. Indicadores de generación de AVR. 47

Resumen

El trabajo desarrollado en la presente tesis de Maestría, consiste en la realización de un estudio de la factibilidad de producir energía a partir de biomasa líquida residual, específicamente Aceites Vegetales Residuales (AVR) que se generan en el Sector Restaurantero de la ciudad de Mexicali, como resultado de los procesos de preparación de alimentos. Tradicionalmente dichos residuos son responsables de causar diversas problemáticas de índole ambiental cuando no se les da un manejo y disposición adecuados, como son taponamientos en la red de alcantarillado sanitario y desbordamientos, malos olores, entre otros, ocasionando un incremento en costos de mantenimiento así como en los asociados al tratamiento de aguas residuales. La revalorización de los aceites vegetales residuales como insumos en la producción de energía constituye un método sustentable para su disposición, además de ofrecer la oportunidad de sustituir los energéticos convencionales utilizados actualmente, coadyuvando en la mitigación de impacto ambiental.

Es por ello que se lleva a cabo un seguimiento a los restaurantes, con el objetivo de estimar los volúmenes que se generan y desarrollar un modelo dinámico que ayude a pronosticar su comportamiento futuro. Éste último se realizó utilizando como herramienta un software denominado Stella, considerando la simulación para un periodo de 10 años en el que destacan los siguientes resultados: una generación promedio de 3.09 litros de AVR per cápita anual, 2,772.09 litros/restaurante/año y 3,000,000 litros en el sector, volúmenes suficientes que hacen factible su reutilización en la producción de energía como son el biodiesel y electricidad, además de otros procesos productivos que son abordados posteriormente. Para el caso del biodiesel se determinó un potencial de producción de 2,

400,000 litros que podrían satisfacer la demanda del sector transporte público (base diesel) en un 20%, mientras que para la electricidad se calcula en 5.4 GW anuales.

En la sección de anexos, destacan las producciones derivadas del presente trabajo.

Palabras clave – Aceites vegetales residuales, energía, biodiesel, modelo dinámico.

Capítulo 1:

INTRODUCCIÓN

1 INTRODUCCIÓN

1.1 Planteamiento del problema

Mexicali es la capital de Baja California, se encuentra ubicada en la región noroeste de México en la frontera con los Estado Unidos de América, con una población de 972.409 habitantes (CONAPO, 2009). Dentro de sus puntos fuertes cabe destacar la mano de obra calificada, aseguramiento en el suministro de agua y energía, así como un entorno económico favorable.

Dentro del marco ambiental, Mexicali presenta diversos problemas de calidad del aire y suelo, esto se debe en gran parte a la alta densidad de industrias maquiladoras, un extenso y obsoleto parque vehicular tanto del sector transporte, agrícola y residencial, quemas agrícolas y basura, disposición inadecuada de residuos, insuficiente pavimentación que genera grandes cantidades de polvo, traduciéndose en altas emisiones de contaminantes, destacándose los gases de efecto invernadero, responsables del calentamiento global, que además repercuten de una manera sustancial y negativa la calidad del aire, afectando la salud poblacional.

Desde el punto de vista energético, Mexicali es dependiente de los combustibles fósiles, siendo nulo el uso de biocombustibles en la región. Los biocombustibles utilizan productos vegetales o animales como materia prima, los cuales pueden ser combinados con diesel, para mitigar el impacto ambiental. Asimismo cabe mencionar, que los energéticos utilizados en la región como el diesel, gasolina y el gas LP, proceden del sur de la

República Mexicana, en tanto que el gas natural es de importación, proveniente de los Estados Unidos de América. Por lo tanto es necesario desarrollar sistemas innovadores que nos conduzcan a crear juntos una ciudad sustentable fomentando una mayor cultura en el uso y aprovechamiento racional de energías capaz de abastecer a una población que se encuentra en crecimiento (ver Figura 1). Observando la dinámica poblacional, se asume que la demanda en combustible tendrá una tendencia a la alza, lo que nos lleva a pensar y desarrollar nuevas alternativas para el aseguramiento energético.

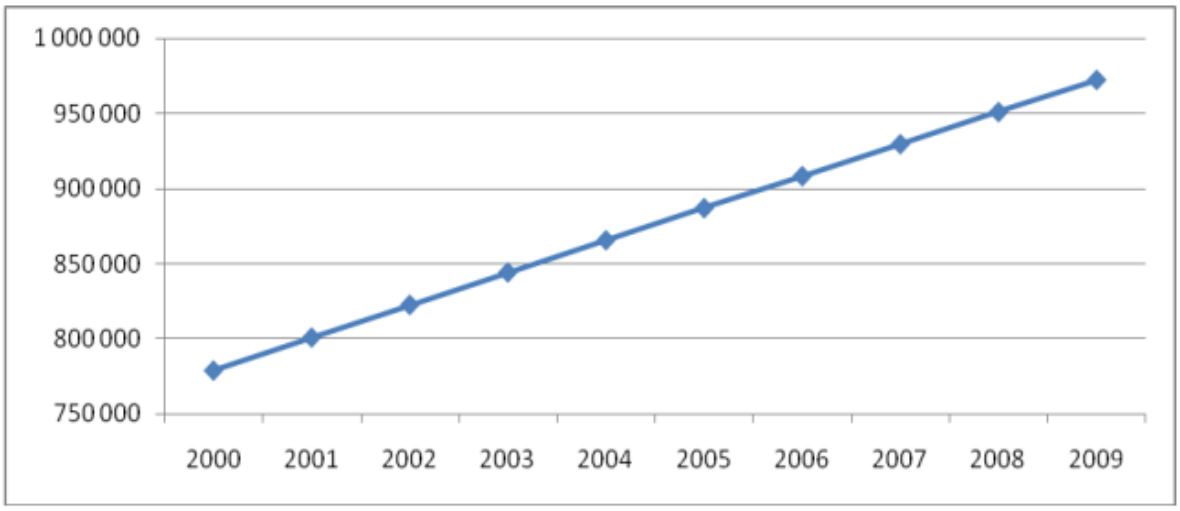


Figura 1. Dinámica de crecimiento poblacional de Mexicali, Fuente: (CONAPO, 2009)

Es así como los Aceites Vegetales Residuales (AVR) se configuran como una opción factible en la producción de bioenergía, ya que representan una oportunidad para mitigar aquellos problemas asociados con su disposición inadecuada como son problemas de taponamiento en la red de alcantarillado sanitario, que ocasionan desbordamientos hacia la vía pública en los que se pone en riesgo la salud de la población expuesta, además de la proliferación de fauna nociva y malos olores, traduciéndose en altos costos de

mantenimiento. Por otra parte, se revalorizarían dichos residuos como materia prima para producir energía con el propósito de coadyuvar en la diversificación de la matriz energética y desarrollo sustentable de la ciudad, basada en la actualidad principalmente en combustibles fósiles.

Es por ello que surge la necesidad de estimar los volúmenes de AVR que se generan en el sector restaurantero de la ciudad, así como el desarrollo de un modelo dinámico que ayude a tener un esquema para conocer el comportamiento de generación para un periodo de 10 años, y evaluar la factibilidad de producción de biodiesel atendiendo en un 20% la demanda energética del sector transporte público.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Estudiar la factibilidad de producción de energía a partir del aceite vegetal residual generado en el sector restaurantero, mediante la aplicación de la modelación dinámica.

1.2.2 Objetivos específicos

- Caracterizar el sector restaurantero de acuerdo a tipología de cocina
- Estimar el volumen de aceite vegetal residual generado de acuerdo a la caracterización previa.
- Desarrollar un modelo dinámico que ayude a simular la generación de AVR para un periodo de 10 años.

- Identificar espacialmente los restaurantes de la ciudad, con el propósito de visualizar las zonas de mayor densidad.
- Evaluar el potencial energético de los aceites vegetales residuales en la producción de biocombustibles.
- Conocer los usos finales de los AVR en la ciudad, y proponer su utilización en otros procesos productivos.

1.3 Hipótesis

La producción de energía a partir de aceites vegetales residuales del sector restaurantero, representa una opción factible para atender la demanda energética del sector transporte público en un 20%.

Capítulo 2:

MARCO TEÓRICO

2 MARCO TEÓRICO

Panorama general del sector energético en México

El sector energético tiene un papel decisivo en México, ya que en él se sustenta en gran medida su desarrollo económico y social, y abarca desde la generación de electricidad e hidrocarburos como insumos para la economía y la prestación de servicios públicos, dando empleo a más de 300,000 trabajadores. La comercialización de hidrocarburos en el plano internacional es un factor determinante para la generación de divisas y de importantes contribuciones fiscales para el gobierno federal. En suma, el sector energético representa un espacio económico clave. (Cerutti et al., 2006)

Dos graves problemas de la situación energética actual de México son: a) la creciente dependencia de productos petrolíferos terminados del exterior; y b) la escasa diversificación de la oferta energética. Por un lado, existe una demanda creciente de productos energéticos terminados que el país es incapaz de cubrir únicamente con su producción nacional. De hecho existe una situación excedentaria de energía primaria (crudo), pero una falta de energéticos terminados (para uso doméstico, gasolinas, etc.), que deben ser importados. La principal causa de fondo es la falta de inversión para aumentar la capacidad de refinación del país.

Por lo que en los últimos años se ha ido acentuando cada vez más la crisis energética en cuanto a hidrocarburos se refiere, es por ello la necesidad de ver hacia nuevos horizontes considerando alternativas para tratar de dar solución a esta situación, destacando la dependencia histórica que ha tenido México con el petróleo. Una de las propuestas es

producir energía a partir de fuentes renovables, en este caso, la biomasa líquida (aceites vegetales residuales) se configura como una opción viable en la producción de biodiesel.

2.1 Biomasa

La biomasa es la materia orgánica proveniente de la actividad, agrícola, pecuaria, silvícola, entre otras, a su vez es la materia prima necesaria para la producción de bioenergéticos, los cuales son combustibles que son producidos mediante la aplicación de procesos tecnológicos sustentables, que cumplen con especificaciones y normas de calidad (SENER, 2008).

La energía de la biomasa ha sido empleada desde tiempo ancestral, considerada como una fuente de energía, a través de la combustión directa de materia orgánica, para diversas aplicaciones básicas. Actualmente ha tenido un resurgimiento debido al ineludible agotamiento de las reservas petroleras en todo el mundo, además de aprovechar su carácter de energía renovable y sustentable.

La biomasa es la única fuente de materia renovable con la capacidad de ser transformada mediante diversos procesos, en combustibles en estados: sólido, líquido y gaseoso.

Una categorización del origen de la biomasa en base a la calidad y cantidad así como su posible destino, se describe brevemente a continuación:

- Biomasa tradicional: También denominada biomasa natural, es la biomasa en la que el hombre no ha tenido injerencia en su producción, ésta se utiliza a baja escala, mediante combustión directa para emplear la energía con propósitos domésticos.
- Biomasa de residuo: Es la biomasa procedente de de los remanentes de diversas actividades, al no tener conocimiento cómo utilizarla apropiadamente se considera desecho sin valor alguno. La cantidad y calidad de la materia depende de la actividad de la cual procede.
- Biomasa moderna: También denominada biomasa producida, es la biomasa que se extrae de los cultivos energéticos, es material de alta calidad y gran volumen para su transformación, por lo general en biocombustibles.

En México, la biomasa participa con un 3.3% en la producción de energía primaria ubicándose en el tercer lugar, en la cual únicamente se contemplan la leña y el bagazo de caña con 2.4% y 0.9 % respectivamente (ver Figura 2).

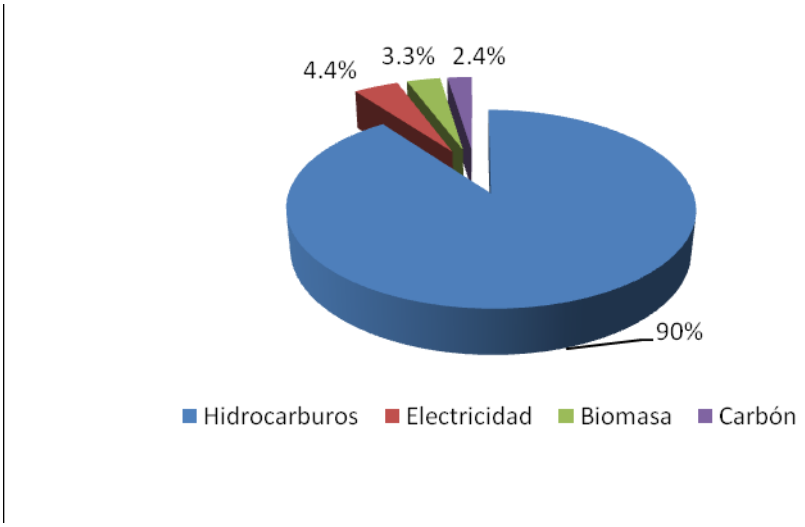


Figura 2. Estructura de la producción de energía primaria en México, 2007. Fuente: (SENER, 2007)

Es de mencionar que la Secretaría de Energía (SENER) considera conveniente incorporar los residuos de animales, residuos vegetales (como lo son los AVR), residuos industriales o recuperados y desechos como fuentes de energía, que pueden ser relevantes en la estructura energética del país y que podrían coadyuvar a la diversificación de fuentes de energía y a un uso más intensivo de las fuentes de energías renovables (SENER, 2007).

2.2 Aceites vegetales y grasas

Los aceites vegetales y grasas animales son lípidos renovables considerados como biomasa, y están compuestos principalmente de triglicéridos que resultan de la combinación de una unidad de glicerina con tres unidades de ácidos grasos (R_1, R_2 y R_3), tal como se muestra esquemáticamente en la Figura 3.

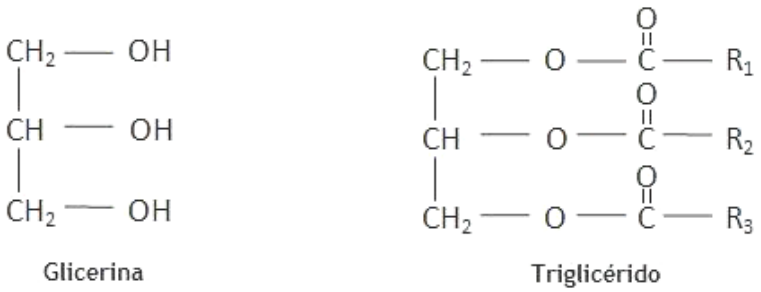


Figura 3. **Molécula de glicerina y triglicérido. Fuente: Elaboración propia.**

Son insolubles en agua, pero solubles en la mayor parte de los solventes orgánicos. Tienen densidades menores al agua, y presentan consistencias a temperatura ambiente, ya sean sólidas, semisólidas o líquidas. Cuando se encuentran a temperatura ambiente y están en estado sólido, se les denota como grasas, y cuando se presentan en estado líquido son llamados aceites, esto sucede en la mayoría de los compuestos oleicos (Strayer et al., 2006). El perfil de ácidos grasos es probablemente el parámetro más importante para saber si se trata de un aceite vegetal o grasa animal. Los aceites vegetales tienden a contener más ácidos grasos insaturados (poseen dobles enlaces) lo que le da más flexibilidad a la cadena

de ácidos grasos, y estos se mantienen separados a temperatura ambiente, formando una estructura líquida. Mientras que las grasas tienden a contener más ácidos grasos saturados que se acomodan muy juntos, y forman una estructura sólida a temperatura ambiente.

2.3 Usos de los aceites vegetales comestibles en la producción de biocombustibles

Debido al elevado contenido energético de los aceites vegetales, son atractivos desde el punto de vista de la producción de energía, destacando principalmente su conversión en biodiesel en los últimos años. Actualmente alrededor del 84% de la producción mundial de biodiesel es llevada a cabo a partir de aceite de colza o también conocida como canola. El restante es a partir de aceite de girasol (13%), aceite de palma (1%) y aceite de soya y otros (2%) (Gui et al., 2008). La problemática que genera lo anterior, es el hecho que recursos alimenticios están siendo utilizados con fines energéticos, lo que podría provocar un desbalance en el suministro alimenticio y la demanda del mercado. Por otra parte, se ha iniciado el debate en cuanto al impacto negativo de la producción de biodiesel a partir de aceites vegetales comestibles nuevos, especialmente la deforestación y destrucción de ecosistemas. Esta dinámica se ha presentado en países como Malaysia, Indonesia y Brasil, donde se han incrementado sustancialmente las plantaciones de cultivos oleaginosos para la producción de biodiesel con el objetivo de satisfacer la demanda de este biocombustible que se encuentra en ascenso continuo, lo que genera el desplazamiento de tierras de cultivo para alimentos.

En la figura 4 se destaca la tendencia global en la disminución del stock de aceite vegetal comestible debido a la producción de biodiesel en los años 1991-2005.

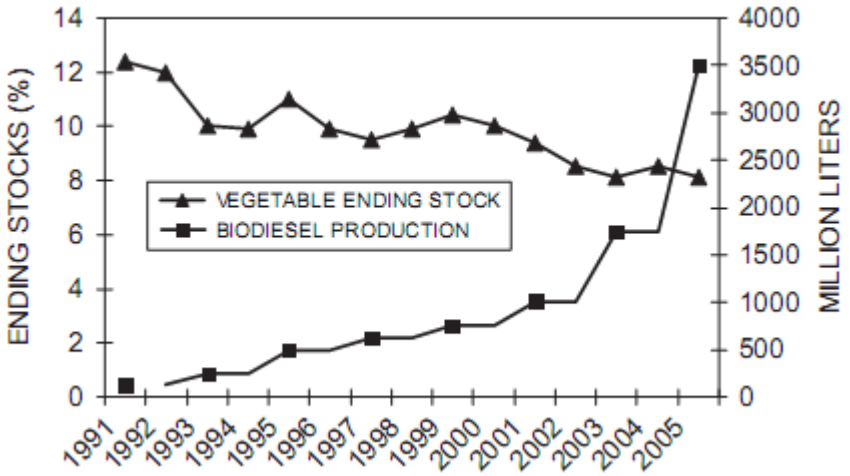


Figura 4. Disminución global de stock de aceites vegetal y producción de biodiesel. Fuente: (Gui, Lee et al., 2008)

Para evitar la problemática y debate en cuanto a la utilización de los aceites vegetales comestibles como insumos en la producción de biodiesel, los aceites vegetales residuales pueden reemplazarlos, ya que grandes volúmenes son generados anualmente alrededor del mundo. Además desde el punto de vista económico son más accesibles, lo que ayudaría en el abatimiento de los costos relacionados con la materia prima.

2.4 Aceites vegetales residuales

Los Aceites Vegetales Residuales (AVR) son aquellos aceites que han visto alteradas sus propiedades físico-químicas, debido a su uso de manera discontinua o continua en procesos de preparación de alimentos. Se ha identificado que las principales fuentes generadoras de estos residuos son las siguientes:

- Sector Restaurantero, incluyendo comedores industriales.
- Sector Residencial.
- Sector Industrial de alimentos.

La cantidad de AVR generado en cada país es considerable y varía de acuerdo a la cantidad de aceite comestible consumido. Por lo que se destaca su disponibilidad como materia

prima en la producción de biodiesel. El costo de los AVR generalmente son menores que los del aceite vegetal comestible nuevo, pero la calidad del primero se ve deteriorada como resultado de su uso repetitivo en la cocción de alimentos, que a su vez incidirá en costos de purificación, debido a la formación de radicales libres y al contenido de agua.

La utilización de los AVR como insumos en la elaboración de biodiesel representa una oportunidad de mitigar la problemática asociada con la disposición inadecuada de dichos residuos, ya que cuando son descargados directa o indirectamente en la red de alcantarillado sanitario causan bloqueos y desbordamientos que derivan en emisiones hacia la vía pública, provocando la proliferación de fauna nociva, malos olores, que aún pueden provocar accidentes y afectar la salud de la población expuesta.

Existen varias razones por las cuales es pertinente fomentar el desarrollo de biodiesel a partir de AVR, entre las que se pueden mencionar las siguientes (Canacki, Gerpen, 2001) (Van Gerpen et al., 2006):

- Representa un método sustentable, en el que se revaloriza y reaprovecha un recurso con un alto contenido energético, para producir un combustible más limpio. De esta manera se deja de desechar un recurso valioso desde el punto de vista energético, y al mismo tiempo se ve ampliamente beneficiado el medio ambiente, así como la sociedad en general.
- Evita el uso de cultivos oleaginosos comestibles en la producción de biodiesel, por lo que no se pone en riesgo la seguridad alimentaria, ya que se trata de la reutilización de un residuo.

- Es una oportunidad para diversificar la matriz energética, basada tradicionalmente en combustibles fósiles.
- Reduce la dependencia de combustible fósiles.
- Las emisiones de bióxido de carbono se integran al ciclo de carbono de las plantas de donde se extraen los aceites.
- Tiene excelentes propiedades lubricantes.
- Provienen de una fuente renovable.
- Constituye una oportunidad para mitigar el impacto ambiental ocasionado por las emisiones de gases de efecto invernadero, responsables del calentamiento global.
- Son biodegradables.

2.5 Biodiesel

El biodiesel se define según la ASTM como una mezcla de ésteres monoalquílicos de ácidos grasos de cadena larga derivados de lípidos renovables tales como aceites vegetales o grasas animales (ASTM, 2008). El biodiesel se obtiene mediante una reacción de transesterificación (Ver Figura 5), que consiste en reemplazar el glicerol por un alcohol de cadena corta, como el metanol o el etanol, de forma que se produzcan ésteres metílicos o etílicos de ácidos grasos, considerando dos rutas, la catálisis alcalina y la ácida. La catálisis ácida, por lo general, se utiliza para mejorar el rendimiento de la reacción, ya que la mayoría de las mezclas de aceite vegetal residual presentan exceso de ácidos grasos libres, que se forman por someterse a periodos prolongados de calentamiento. Es por ello que se considera un pretratamiento ácido, para después proceder a la catálisis alcalina, utilizando hidróxido de sodio o de potasio.

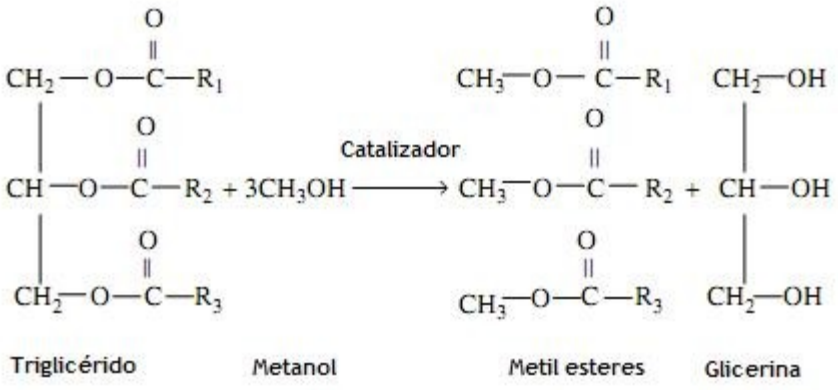


Figura 5. Reacción de transesterificación. Fuente: Elaboración propia.

El propósito de la reacción de transesterificación es reducir la viscosidad del aceite principalmente.

La calidad del biodiesel depende principalmente de la materia prima y de los reactivos que se necesitan para llevar a cabo la reacción de transesterificación. Para determinar qué calidad obtenemos de biodiesel, se realizan pruebas según la especificaciones de la Norma ASTM D6751. Entre las que destacan: punto flash, agua y sedimento, viscosidad cinemática, ceniza sulfatada, azufre total, corrosión de tiras de cobre, número de cetano, punto de nube, residuo de carbono y número ácido, glicerina libre, glicerina total, fósforo y destilación al vacío punto final.

Las proporciones aproximadas de reactivos y productos en la obtención de biodiesel se pueden observar en la Figura 6.

Figura 6. Proporciones aproximadas de la reacción para obtener biodiesel. Fuente: Elaboración propia.

Como subproducto de la reacción de transesterificación, además de biodiesel se obtiene glicerina, la cual dependiendo del grado de pureza se le da diversos usos en diversos

sectores productivos como son: farmacéutico, cosmético, tabaco, alimentos y manufactura de uretanos.

Desde el punto de vista de emisiones de CO_2 el biodiesel es considerado neutral, ya que el CO_2 liberado como producto de su combustión, es el mismo que es removido del ambiente en la fotosíntesis por los cultivos oleaginosos durante el proceso de producción de la biomasa (Ver Figura 7). Lo anterior es cierto solamente si la energía de la biomasa es consumida sustentablemente.

Figura 7. Ciclo del biodiesel. Fuente: www.acciona-energia.com

2.6 Otros usos energéticos y no energéticos de los aceites vegetales

Combustión directa en automotores (base diesel). En algunos lugares, las personas están quemando aceite vegetal directamente en automóviles que funcionan a base diesel, camiones, y autobuses. Otros, toman el AVR de los establecimientos de preparación de alimentos. Para hacer funcionar un vehículo con aceite vegetal, el cual es más viscoso que el biodiesel o el diesel convencional, se deben implementar ciertas modificaciones. Varias compañías manufacturan kits de conversión, los cuales tienen un precio entre 300 a 800 dólares. La mayor parte de estos kits incluyen un tanque separado para el aceite y

elementos de calentamiento para el tanque, la línea del combustible, y el filtro del combustible. Se calienta el aceite con el objetivo de que fluya con más facilidad (Chiras, 2009). El aceite vegetal es un combustible como tal, es necesario comprender las ventajas y desventajas de este enfoque. Una de las mayores ventajas, es que se trata de un combustible con una gran disponibilidad. Por ejemplo se puede llegar a cualquier restaurante que hace uso de aceites vegetales en los procesos de fritura y cargar combustible a un precio más accesible que los convencionales. (Obviamente se requerirá primeramente filtrar el aceite). No solamente el combustible es abundante y ampliamente disponible, sino también los kits de conversión para motores diesel. Pueden ser comprados vía internet. El aceite vegetal cuando se quema ayuda a resolver otro importante problema, que es la contaminación del aire a partir de combustibles fósiles convencionales, porque reduce las emisiones de dióxido de carbono. Este combustible es considerado frecuentemente como neutral desde el punto de vista del carbono, pero no es completamente cierto, considerando que para el cultivo de las semillas oleaginosas, se requiere energía (para hacer funcionar tractores, maquinaria agrícola, etc.) la cual por lo general se obtiene a través de combustibles convencionales. Su bajo contenido de azufre, renovabilidad, y biodegradabilidad constituyen también ventajas muy importantes. Los aceites vegetales como combustibles presentan algunas desventajas, destacando su alta viscosidad y baja volatilidad.

Los kits de conversión y su instalación representan un costo alto. Además un tanque de combustible adicional requiere una cantidad considerable de espacio en la cajuela. También es necesario iniciar el vehículo con diesel ordinario, posteriormente hacer el cambio con aceite vegetal una vez que haya sido calentado. Asimismo 5 minutos antes de apagar el automóvil, es necesario regresar a la utilización de diesel para limpiar las líneas de

combustible. Además debido a su baja calidad y poder calorífico deriva en mayor consumo de combustible y causa problemas al motor debido a la presencia de impurezas.

Generación de bioelectricidad. El término bioelectricidad, se refiere a la electricidad que es producida a partir de la biomasa. El AVR está considerado como biomasa líquida, pues es obtenido de cultivos oleaginosos de origen vegetal. Hoy en día es utilizado en plantas de ciclo combinado (calor-potencia) para producir electricidad, ya sea en la configuración: a) turbina de gas o motor ignición-compresión con una unidad de recuperación de calor o b) generador de vapor con turbina de vapor (EPA, 2009). La exergia química para el AVR es de 30 MJ/kg aproximadamente (Talens et al., 2006), partiendo de la suposición de un flujo másico de 1 kg/hr, considerando una eficiencia de conversión a electricidad del orden de 30% (UNF, 2009), se obtendrían 2.5 kw/hr por cada kg de AVR.

Producción de jabón. Existe evidencia que la producción de jabón data de 2800 A.C y la Antigua Babilonia. Los antiguos Egipcios combinaban aceites vegetales y grasas animales con sales alcalinas para formar un material (jabón) para lavar y tratar enfermedades de la piel (Myers, 1992). El jabón ordinario es elaborado a partir de una mezcla de sales de sodio de varios ácidos grasos contenidos en los aceites y grasas. Básicamente, el jabón está compuesto de sales alcalinas y de ácidos grasos con cadenas de carbono 8-22, los cuales son utilizados en la mayor parte de los jabones hoy en día. La mayoría de los jabones para los hogares, son hechos solubles en agua, sin embargo, algunos jabones, como el de magnesio, es insoluble en agua y es por ello su uso en aplicaciones industriales.

Elaboración de lubricantes. Existe aplicación directa de los aceites y grasas como lubricantes, la mayoría de los lubricantes en la actualidad contienen sales de ácidos grasos y/o ácidos grasos químicamente modificados. Estas mejoras han asegurado la producción de lubricantes con características uniformes que funcionarán en rangos de temperatura más extensos y tendrán mayor estabilidad para extender su periodo de vida útil (Kiepper et al., 2001). Las grasas lubricantes se obtienen de mezclar aceite con sales de ácidos grasos a altas temperaturas, permitiendo que la mezcla se enfríe. Las propiedades resultantes dependen de la relación aceite-jabón y los ácidos grasos en el jabón. Otros usos de los aceites y grasas residuales, incluye lubricantes para herramientas de corte, maquinado, estampado, etc. Estos lubricantes son denominados como aceites de corte y pueden ser utilizados solos o en una emulsión con agua.

Alimentación de ganado. Debido a que los AVR son un recurso con un alto contenido energético desde el punto de vista nutricional, son usados como suplemento alimenticio en la dieta para ganado, ayudando en el proceso de engorda (Kiepper, Governo et al., 2001). Existen algunos países en los cuales ya no está permitido el uso de los AVR y grasas animales en la alimentación de ganado. Un caso muy conocido, es el ocurrido en Inglaterra con la enfermedad de la "vaca loca", y debido a ello se prohibió el uso de estos residuos con tales fines. En México, tal uso está permitido, además se tiene conocimiento de que en Mexicali es una práctica común.

2.7 Estudios de inventarios de aceites vegetales residuales y desarrollos en la producción de biodiesel

2.7.1 Contexto global

En la actualidad son pocos los estudios existentes, en donde se estimen los volúmenes de aceites vegetales residuales, con el propósito de evaluar su viabilidad para reutilizarlos como insumos en la producción de biodiesel. En Estados Unidos de América, el Laboratorio Nacional de Energías Renovables (de sus siglas en inglés, NREL), elaboró un reporte denominado "Urban Waste Grease Resource Assessment" con el propósito de estimar la cantidad de aceite residual generado en los restaurantes. Los resultados desde un punto de vista poblacional, arrojaron una cantidad de aceite residual estimado en 9 lb/año/persona, mientras que por restaurante fue de 6,268 lb/año (Wiltsee, 1998). El trabajo llega a la conclusión de que la cantidad de aceite vegetal residual generado está estrechamente relacionado con: a) la población en general (número de habitantes) y b) el número de restaurantes.

Otro estudio, reporta que 2.5 billones de libras de aceites y grasas son recolectadas anualmente en restaurantes y establecimientos de comida rápida en la unión americana (Haumann, 1990).

En la Figura 8, se puede apreciar fácilmente el crecimiento que ha vivido Estados Unidos, país vecino de México, en cuanto a la producción de biodiesel. La mayor parte de las plantas procesan múltiples materias primas, como son: aceites vegetales residuales, grasas animales, aceite de soya, entre otros insumos.

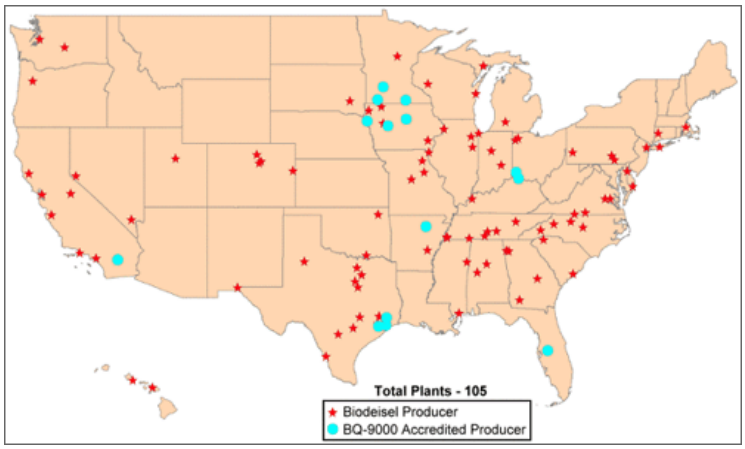


Figura 8. Plantas de biodiesel en EUA. Fuente: www.eere.energy.gov

En la ciudad de Buenos Aires, Argentina, se desarrolló una investigación que tiene por título "Biodiesel como producto del reciclado de aceites vegetales usados, logística asociada" en la que se estimó la capacidad potencial de producción de biodiesel a partir de aceites vegetales residuales tomando en cuenta todos los establecimientos generadores, no solamente el sector restaurantero. El estimado de generación per cápita anual de aceite que propone es de 8.97 kg (Alves, 2006).

Por otra parte, en Irlanda se ha estimado una generación de 5.2 kg de aceite vegetal residual al año (Singh et al., 2009).

2.7.2 Contexto nacional

Son pocos los estados de la República Mexicana que se encuentran desarrollando proyectos o produciendo biocombustibles (Ver Figura 9). Entre ellos se encuentran los estados de Nuevo León con una planta en el municipio Cadereyta que produce 300,000 litros mensuales de biodiesel (Schröder et al., 2006), operando a un 50% de capacidad, Chiapas, Sonora y Baja California con desarrollo de proyectos de investigación, Michoacán y Oaxaca en donde la Universidad José Vasconcelos desde 2004 cuenta también con una planta piloto, para experimentar con la producción de biodiesel de aceite vegetal residual,

con una capacidad de 38 ton/año (3.6 m^3/mes); que se utiliza como B20 en un autobús de la misma universidad.

Figura 9. Estados de México con desarrollos en biodiesel

En el Distrito Federal se está llevando a cabo una prueba piloto que involucra a 1200 restaurantes, 18 mercados, 236 escuelas y 25 centros deportivos, con el objetivo de aprovechar los volúmenes de generación de AVR, recolectándolos para posteriormente convertirlos en biodiesel. Los resultados de dicho estudio todavía no han sido publicados.

Se están realizando otros esfuerzos para la producción de biodiesel en México, pero no se tiene suficiente difusión y es difícil conocerlos todos; aunque es factible que tan sólo se tenga su desarrollo en zonas determinadas, para su autoconsumo (Sarmiento, 2008).

Es interesante ver la comparación entre los desarrollos en materia de producción de biodiesel entre Estados Unidos y México (Ver Figuras 8 y 9). La diferencia ha sido la difusión, promoción, apoyos, e incentivos fiscales que se han implementado en EUA para que se lleven a cabo proyectos a nivel de pequeña, mediana y gran escala para producir biodiesel.

2.7.3 Contexto Regional

En el estado de Baja California solamente se presentan dos casos de producción de biodiesel. La Recicladora del Noroeste de Industria Cachora, ubicada en la ciudad de Tijuana, es una empresa dedicada a recolectar el aceite vegetal residual en restaurantes, que a su vez procesa convirtiéndolo en biodiesel, el cual es utilizado en flotillas del transporte público de las denominadas Calafias. Su nivel actual de producción es de 600 litros semanales de biodiesel (CRONICA, 2009).

A finales del año 2009, la Comisión Estatal de Servicios Públicos de Tijuana (CESPT) hizo público el uso de biodiesel en maquinaria de dicha dependencia. Esto se logra como resultado de un programa denominado "Atrapa la grasa", en el cual se recolectan los AVR generados en establecimientos de preparación de alimentos, con la finalidad de ser convertidos en biodiesel. El Director General de esta dependencia aseguró que el biocombustible obtenido, está siendo consumido en diversas unidades motoras de la paraestatal. Este proyecto piloto inició el pasado mes de julio y a la fecha el biocombustible se ha utilizado en vehículos que operan a base de diesel como son: 4 Tracto camiones, 1 moto conformadora, 1 Traxcavo D9, 3 Retroexcavadoras, 2 Grúas, 1 Camión Pipa (agua de reuso) y 2 camiones de volteo. La idea es que esta clase de proyectos se implementen en otras ciudades del Estado de Baja California, como lo es Mexicali (CESPT, 2009).

En la ciudad de Mexicali, es nula la producción de biodiesel a escala comercial, debido a la existencia de diversas variables que lo influyen (Ver Figura 10). Es así que la causa inicial es el bajo nivel de inversión, que sumado a la falta de innovación, investigadores, así como programas de fomento, se ven reflejados en una transferencia tecnológica baja. Por otra

parte, se da un desaprovechamiento de los AVR, como resultado de la falta de una cultura ambiental. Por lo que, todos las características mencionadas impiden el desarrollo en producción de biodiesel, continuando en una dinámica de mayor dependencia de combustibles fósiles, los cuáles afectan negativamente en la calidad de vida.

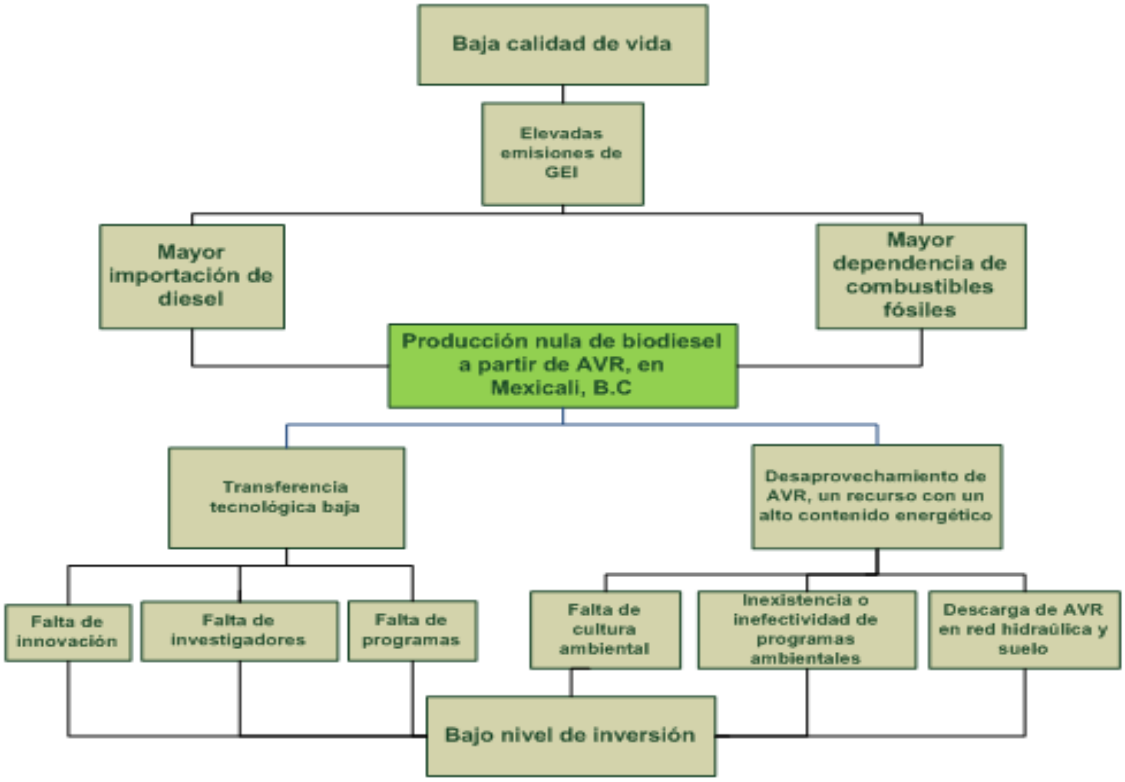


Figura 10. Causas por las que es nula la producción de biodiesel. Fuente: Elaboración propia.

Sin embargo hay empresas dedicadas a ofrecer el servicio de recolección de aceites residuales al sector restaurantero. Actualmente existen 7 empresas que cuentan con certificación por parte de la Dirección de Ecología Municipal, para operar y otorgar el servicio de recolección de AVR en la ciudad. Los destinos finales de estos residuos son los siguientes:

- Planta de producción de biodiesel ubicada en Coachella, California. Los AVR son exportados hacia la unión americana con el propósito de ser reutilizados como materia prima en la producción de biocombustible.
- Ganaderías. Son vendidos por las empresas recolectoras a ganaderas, para su uso en alimentación de ganado.
- Tiraderos clandestinos. Es importante mencionar, la existencia de empresas que no cuentan con los permisos pertinentes para operar legalmente en la prestación de servicios de recolección de AVR, por lo que se han detectado tiraderos clandestinos a los que éstas acuden para verter sus desechos.

La propuesta del grupo de biocombustibles del Instituto de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Baja California, es que en lugar de exportar dichos recursos, estos sean procesados y aprovechados localmente proporcionando el valor agregado, logrando el beneficio económico, ambiental y social para la sociedad mexicalense. El sector transporte representa una oportunidad para la utilización de este biocombustible para lograr estándares de sustentabilidad, ya que actualmente la participación de este sector que utiliza combustibles fósiles, en las emisiones de Gases de efecto invernadero es alta, y se estima un crecimiento de 70,000 toneladas anuales en el 2005 a 200,000 toneladas para el 2025. Se estima que la demanda de diesel en Mexicali en el sector transporte público es de 7.17 millones de litros anuales que representan 1.43 millones de litros de Biodiesel para una mezcla B20 (biodiesel 20%, diesel 80%). (Ver ANEXO A, Estudio del sector transporte público).

2.8 Análisis de precios de aceites vegetales residuales

El precio promedio internacional del AVR se ha mantenido desde el 2007 hasta la fecha en aproximadamente 10 centavos de dólar por litro (Demirbas, 2009), mientras que en la ciudad de Mexicali, es a partir del 2008 que se inicia una competencia por este residuo entre las empresas que se dedican a su recolección, provocando rápidamente una alza sustancial en los precios, pasando de 7 centavos hasta 30 centavos de dólar por litro en el 2009. De esta manera los establecimientos de preparación de alimentos se ven ampliamente beneficiados al vender los AVR que son generados en sus establecimientos. Es importante conocer cuáles son los precios de los AVR en el mercado y su comportamiento, si se pretende llevar a cabo una inversión, para su reaprovechamiento en algún proceso productivo.

2.9 Problemática de taponamiento, disposición final de los AVR y costos asociados

En Mexicali el departamento de desazolve de la Comisión Estatal de Servicios Públicos de Mexicali (CESPM), es el encargado de dar mantenimiento a la red de alcantarillado sanitario. Cuando se presenta la problemática de taponamiento se acude al lugar con un transporte especial llamado Vactor (Ver Figura 11), el cual cuenta con equipos de bombeo y vacío para remover el azolve formado. Una vez que ha sido removido, el vehículo se dirige hacia las plantas de tratamiento de aguas residuales ubicadas en la colonia Zaragoza, y es ahí donde son descargados todos los residuos a campo abierto, por lo que solamente se está realizando una transferencia de contaminantes (Ver Figura 12).

Figura 11. Vactor

Figura 12. Transferencia de contaminantes

El departamento de la CESPM cuenta con 9 Vactors en total, con un precio aproximado de 2,000,000 de pesos cada uno. El costo hora/máquina incluyendo los gastos administrativos está estimado en 2,500 pesos. Cada unidad Vactor opera en promedio 7 hrs al día, lo que arrojaría un estimado de costo anual total de mantenimiento de la red de alcantarillado sanitario en 56.7 millones de pesos.

Lamentablemente no se cuenta con información relacionada a que porcentaje del estimado anterior correspondería a aquellos problemas relacionados con el taponamiento provocado

por la acumulación de aceites y grasas. Suponiendo que por lo menos un 30% estuviera asociado a este rubro, el costo sería de aproximadamente 17 millones de pesos.

Una propuesta interesante sería la de aplicar programas ambientales eficientes para disminuir la descarga de aceites vegetales residuales en la red de alcantarillado, ya que provocaría un ahorro en costos, pudiendo utilizar parte de ese recurso para impulsar la producción de biodiesel a partir de dichos residuos.

Capítulo 3:

MATERIALES Y MÉTODOS

3 MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Estudio para la estimación de la generación de AVR en el sector restaurantero de Mexicali (2008).

En los restaurantes de la ciudad de Mexicali, no existe una cultura ambiental para dar un manejo adecuado a los aceites y grasas después de su utilización, por lo que en gran parte de los casos son desechados hacia la red de alcantarillado sanitario.

El grupo de biocombustibles del instituto de ingeniería, elaboró el presente estudio con el motivo de tener un esquema general acerca de la generación de aceites residuales por parte del sector restaurantero de la ciudad de Mexicali, Baja California, para el año 2008, el cual resulta esencial para poder determinar el potencial del aprovechamiento de esos residuos en la producción de biodiesel. A continuación se reporta la metodología empleada.

3.1.1 Caracterización del sector restaurantero

En una primera etapa se procedió a identificar el número de establecimientos de preparación de alimentos existentes en la ciudad. Posteriormente se buscó información, en la Cámara Nacional de la Industria Restaurantera y Alimentos Condimentados (CANIRAC), donde se obtuvo una base de datos con los restaurantes afiliados a la organización. Entre otras fuentes de información consultadas, se encuentra el directorio telefónico, la página electrónica de turismo de Mexicali, Secretaría de Turismo, el SAT (Sistema de Administración Tributaria), así como la identificación en campo de los distintos restaurantes de la ciudad mediante el recorrido en automóvil por la ciudad de Mexicali.

De acuerdo a Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2004), en la ciudad de Mexicali se encuentran 1,094 establecimientos de preparación de alimentos en los que se incluyen restaurantes con servicio de meseros, restaurantes de autoservicio y de comida para llevar.

La oferta gastronómica en Mexicali es diversa, por lo que se desarrolló una clasificación por tipología de comida, en la cual aparecen las más representativas, por el número de establecimientos localizados en la ciudad: rápida, china, mexicana, internacional, japonesa, italiana y mariscos.

A continuación se enlistan los aceites y grasas más utilizados en los establecimientos de preparación de alimentos: a) soya, b) maíz, c) olivo, d) mantequilla, e) manteca, f) girasol y g) canola.

3.1.2 Tamaño de muestra

El siguiente paso consistió en establecer el tamaño de muestra de restaurantes, dando como resultado aproximadamente el 10 % del dato extraído de INEGI, que reporta la existencia de 1094 restaurantes, lo cual es estadísticamente aceptable.

3.1.3 Instrumento de levantamiento de información

El proceso de levantamiento de información se llevó a cabo utilizando como instrumento principal las encuestas, en el que se procedió a visitar los restaurantes y entrevistar a las personas indicadas para obtener información confiable y pertinente, relacionada con la demanda de aceites comestibles, estimados de los volúmenes de AVR que desechan, así como la disposición que les dan.

3.2 Distribución espacial sobre imagen satelital de los restaurantes en Mexicali.

Mediante el uso de un Geoposicionador satelital se obtuvieron las direcciones geográficas en coordenadas UTM para la zona 11 N de cada establecimiento de preparación de alimentos in-situ, a partir de la realización de recorridos alrededor de la ciudad, para posteriormente colocarlas sobre una imagen satelital.

3.3 Modelo de Simulación

Para el desarrollo del modelo de simulación se utilizó la información que se obtuvo del estudio para la estimación de aceite vegetal residual. El software en el cual se diseñó se denomina Stella, una plataforma muy accesible para llevar a cabo la modelación dinámica de sistemas. El periodo de tiempo especificado para la simulación fue determinado en 10 años.

Las variables utilizadas para alimentar el modelo se muestran a continuación:

- Dinámica de crecimiento poblacional. Es un factor determinante en la demanda de aceites y en el sector restaurantero, ya que precisamente en ella se encuentran los comensales que asisten con cierta frecuencia a los restaurantes. Los datos correspondientes a las proyecciones de la población, se tomaron de la base de datos del Consejo Nacional de Población (CONAPO) para el periodo 2008-2017
- Dinámica económica del sector restaurantero
- Número de establecimientos de preparación de alimentos
- Tipos de cocinas
- Demanda de aceite vegetal
- Destinos de aceites vegetales residuales

También se considera el beneficio económico que representa a los restaurantes por concepto de venta de los AVR.

Por otra parte se evalúa el potencial de producción de energía tanto de biodiesel como bioelectricidad.

En la Figura 13 se muestra el esquema general del Modelo desarrollado en Stella.

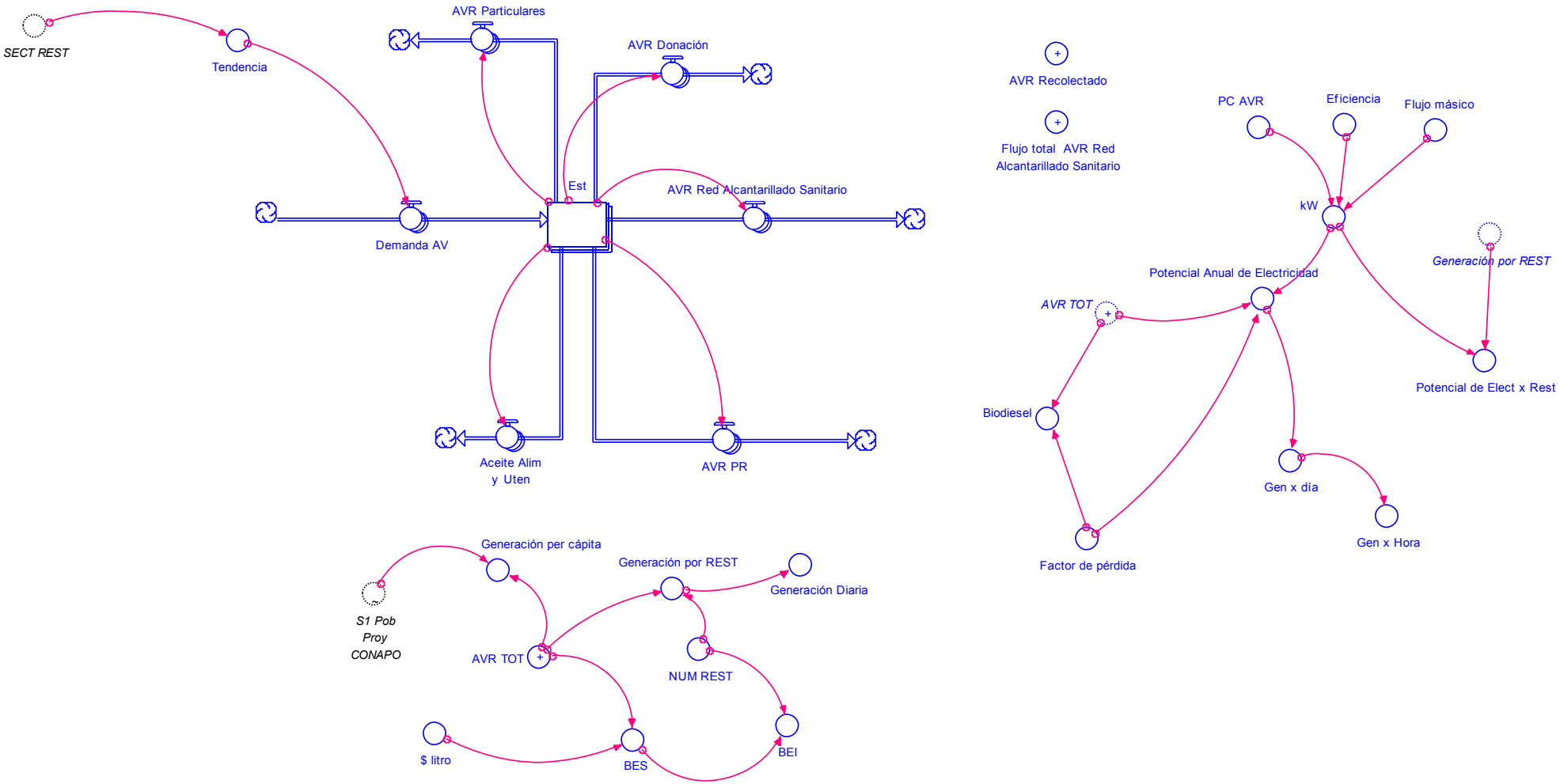


Figura 13. Esquema general del modelo desarrollado en Stella

Capítulo 4:

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Estudio para la estimación de la generación de AVR en el sector restaurantero de Mexicali (2008).

A partir de la muestra obtenida del estudio y del procesamiento y análisis de la información, se obtuvieron los resultados que se aprecian en la Tabla 1.

Tabla 1. Volúmenes y porcentajes de generación de AVR por categoría.

Tipos de cocina	Volúmenes de generación anual (litros)	Porcentajes
Rápida	1,091,391	51%
Mexicana	283,538	13%
Internacional	288,856	14%
China	206,486	10%
Mariscos	168,319	8%
Japonesa	84,975	4%
Italiana	15,484	1%
TOTAL	2,139,048	100%

El volumen total estimado de generación a partir de la muestra observada, se calculó conservadoramente en 2.1 millones de litros anuales de aceites vegetales residuales.

Como se puede observar, el tipo de cocina que presenta el mayor volumen de generación es la cocina rápida, por su alto consumo de aceite en sus procedimientos de preparación de alimentos, en los que las freidoras son utilizadas con una frecuencia mayor, siendo más precisos, en la elaboración de papas fritas, así como los empanizados de carne para hamburguesas.

La cocina internacional se posiciona en el segundo lugar, le sigue en orden de importancia la cocina mexicana, posteriormente la cocina china, la cual ha formado parte del paladar mexicalense a través de los años. Y por último se encuentra situada la cocina italiana con el menor volumen de generación de aceites, esto se debe a que gran parte del aceite utilizado es retenido en los alimentos preparados.

Un dato alarmante es el relacionado con la frecuencia con la que se realiza el cambio de AVR por aceite nuevo, ya que se lleva a cabo en un promedio de cada 5 días, lo cual desde el punto de vista de salud pública es sumamente nocivo para el ser humano, por los compuestos cancerígenos que se forman, tales como los hidrocarburos aromáticos policíclicos, conocidos como PAH por sus siglas en inglés, debido a su reutilización repetitiva en los procesos de preparación de alimentos. Entre estos compuestos, cabe señalar que es común la formación de benzo(a)pireno (Li et al., 2003).

Los resultados también reportan que el 83.3% de los restaurantes encuestados (ver Figura 14), ofrecen sin costo alguno el volumen de aceite residual generado, con la condición de la empresa o particular recolecte y disponga del residuo. El 8% paga por el servicio de recolección de aceites y limpieza de trampas de grasa. El 6% corresponde a aquellos establecimientos que desechan los residuos al drenaje.

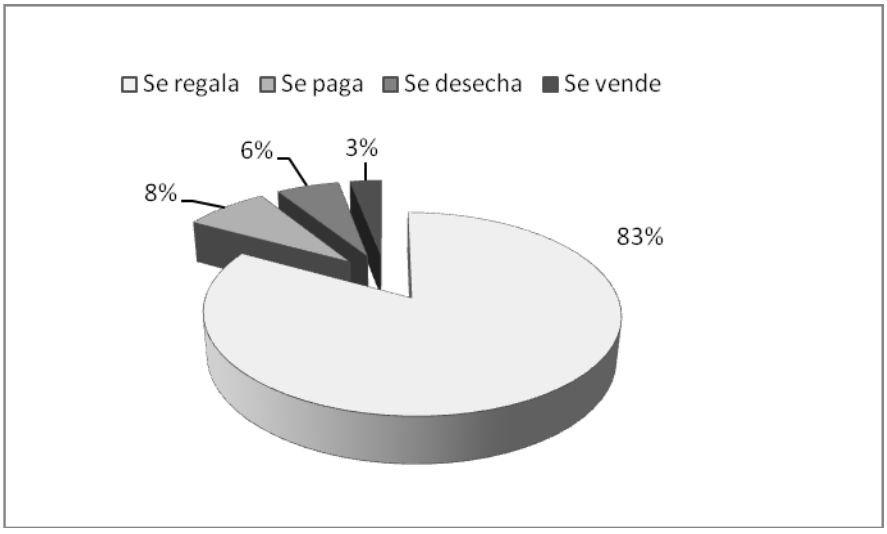


Figura 14. Disposición del residuo

El 3% final representa a los restaurantes que obtienen ganancias por concepto de venta de sus residuos, siendo el precio por litro de 7.3 centavos de dólar americano.

Como parte de los resultados, también se logró identificar los destinos de los volúmenes generados (Ver Figura 15).

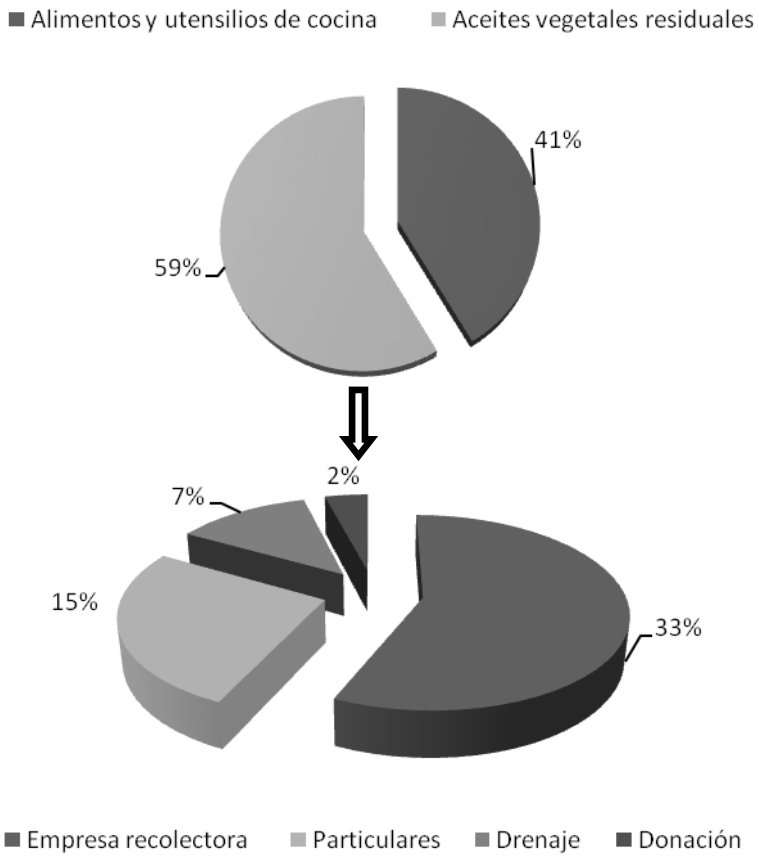


Figura 15. Destino de los aceites vegetales residuales

La Figura 14 refleja que de la cantidad de aceite que se utiliza en la preparación de alimentos, el 41.45% se consume en alimentos o se desecha en los utensilios de cocina, mientras que el 58.55% restante se convierte en aceite residual. También se aprecia que este porcentaje de desechos tiene diferentes destinos y puede observarse que un tercio de tales residuos son

recolectados por empresas dedicadas a tal actividad, en tanto que un estimado de 88, 300 litros de AVR son enviados al drenaje municipal.

4.2 Distribución espacial sobre imagen satelital de los restaurantes en Mexicali

Entre otros resultados, también se llevó a cabo la distribución espacial de los restaurantes en Mexicali. (Ver Figura 16).

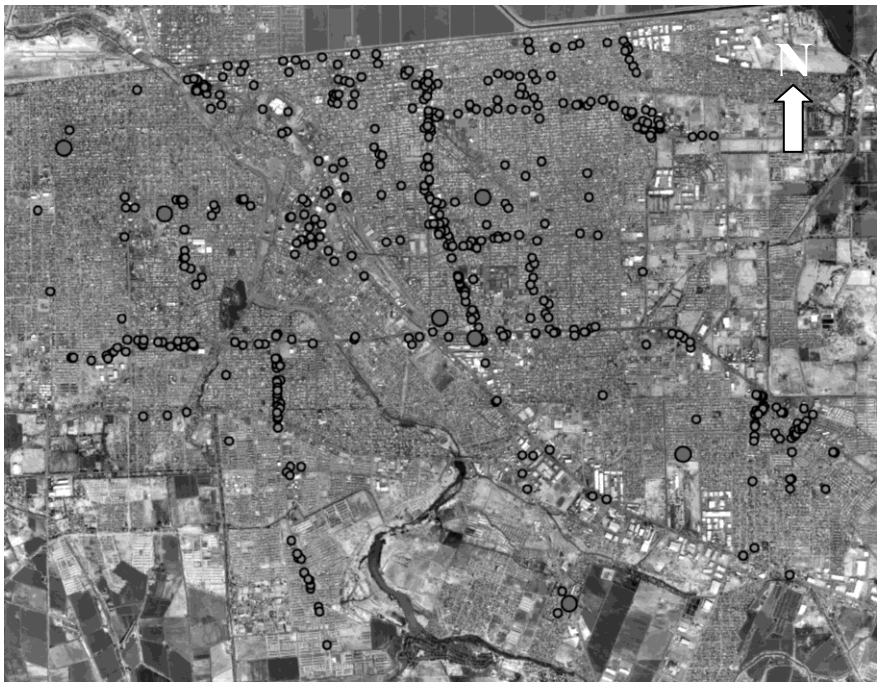


Figura 16. Distribución espacial de restaurantes en Mexicali

Según el mapa obtenido, las zonas de mayor concentración de restaurantes se encuentran en las siguientes ubicaciones de la ciudad: Blvd. Anáhuac, Blvd. Gral. Lázaro Cárdenas, Nuevo Mexicali, Blvd. Benito Juárez, Blvd. Justo Sierra, Zona centro, Centro Cívico, Calz. CETYS.

Generalmente existe una mayor densidad de restaurantes en aquellos lugares donde se ubican corredores comerciales y avenidas principales. Sosteniendo entrevistas con personal de la Comisión Estatal de Servicios Públicos de Mexicali (CESPM), se confirmó la existencia de una relación entre la densidad de restaurantes con una mayor incidencia de la problemática de taponamiento.

4.3 Modelo de simulación

El tiempo estipulado para llevar a cabo la simulación, es con una proyección a 10 años (2008-2017). Los volúmenes futuros se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2. Indicadores de generación de AVR.

Año	Generación per cápita [litros]	Generación por Restaurante [litros]
2008	2.43	2,118.84
2009	3.13	2,741.32
2010	3.15	2,777.27
2011	3.20	2,841.14
2012	3.22	2,876.33
2013	3.20	2,883.64
2014	3.18	2,879.02
2015	3.15	2,872.28
2016	3.12	2,866.89
2017	3.11	2,864.08

El comportamiento del modelo para el año 2008 es muy similar al calculado en el estudio elaborado para ese mismo año. Posteriormente se destaca un incremento en los volúmenes de generación año tras año, con ciertas variaciones, manteniéndose en un promedio de generación de 3, 000,000 de litros (ver Figura 17).

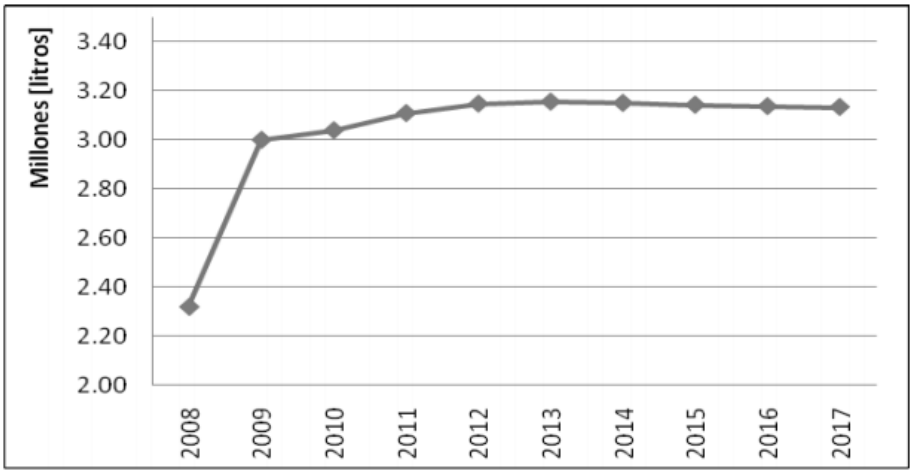


Figura 17. Comportamiento de la generación de AVR, periodo 2008-2017.

La generación per cápita promedio para los años simulados se sitúa en 3.09 litros, mientras que la generación por restaurante en 2772.09 litros anuales.

4.4 Potencial energético de los AVR y uso de tierra

La utilización de residuos para energía no requiere de tierra de cultivo y tiene el beneficio adicional de proveer un manejo de residuos sustentable. Un estudio denominado "Exergy analysis applied to biodiesel production" reporta que la exergia química de los aceites vegetales residuales se estima en 30 MJ/kg (Talens, Villalba et al., 2006). Partiendo de los 3 MM litros de AVR promedio anual, pronosticados para los próximos 10 años en la ciudad de Mexicali, se estimó un potencial energético de 81,000 GJ/año. Si esta energía proviniera por ejemplo de biodiesel de semilla de canola, se necesitarían 17.61 km^2 de tierra (representa el 1% de la superficie total de tierra de cultivo del Valle de Mexicali) para proveer la semilla necesaria para dicha energía (Singh, Smyth et al., 2009). Este es un ejemplo del potencial de los biocombustibles a partir de los residuos para minimizar el uso de la tierra.

4.5 Potencial de producción de biodiesel y bioelectricidad a partir de AVR

El potencial de producción de biodiesel a partir de un promedio de 3 millones de litros de AVR, se estimó en 2.4 millones de litros, suficientes para cubrir la demanda del sector transporte público en un 20%. Mientras que para la producción de electricidad se estimó un potencial de 5.4 GW anuales.

5. CONCLUSIONES

5 CONCLUSIONES

- La reutilización de los aceites vegetales residuales como materia prima con fines de producción de energía, representa una oportunidad para revalorizarlos contribuyendo en la diversificación de la matriz energética así como en la mitigación del impacto ambiental ocasionado por las emisiones de gases de efecto invernadero.
- A partir de los resultados obtenidos, la producción de biodiesel a partir de aceites vegetales residuales del sector restaurantero de Mexicali, es factible y presenta características favorables para satisfacer la demanda energética del sector transporte público en un 20% (Mezcla biodiesel – diesel, 20% y 80% respectivamente).
- La utilización de herramientas de simulación permitieron obtener un esquema para observar el comportamiento futuro de la generación de los aceites vegetales residuales considerando la dinámica del sector restaurantero y poblacional de la ciudad, para con ello conocer su disponibilidad como materia primal potencial en la producción de energía.
- Ante la exportación de aceites vegetales residuales que se está realizando para su transformación final en biodiesel, es importante evitar esa fuga de recursos energéticos, y llevar a cabo su aprovechamiento localmente, obteniendo beneficios desde los enfoques económico, por su potencial en la generación de empleos, ambiental debido a que representa una alternativa para una disposición productiva y sustentable de los mismos, evitando la contaminación y repercusiones que tradicionalmente están asociadas con su disposición inadecuada, y por último el enfoque de salud ambiental. Por lo que es necesario profundizar en los factores que influyen en el desarrollo o ejecución de proyectos de investigación creando una plataforma que busque enlaces de triple hélice

donde el Sector Gobierno, Sector Productivo y Sector Educativo formen una sinergia para coadyuvar en la promoción, difusión e implementación de proyectos relacionados con el uso y desarrollo de tecnologías energéticas sustentables en la región.

6. REFERENCIAS

6 REFERENCIAS

Alves (2006). Biodiesel como producto del reciclado de aceites vegetales usados.

ASTM (2008). "American Standard for testing and materials." ASTM D6751-08.

Canacki, M. and V. Gerpen (2001). " Biodiesel Production from oils and fats with high free fatty acids." American Society of Agricultural Engineers **1429**.

Cerutti, O. M., et al. (2006). Potenciales y Viabilidades del Uso de Bioetanol y Biodiesel para el Transporte en México, SENER.

CESPT. (2009). "CESPT Pionero en la utilización de biocombustibles ecológicos." Retrieved 14/11/2009, 2009.

CONAPO (2009). Proyecciones de población para el municipio de Mexicali. Mexicali.

CRONICA (2009). Crean combustible alternativo. Periódico La Crónica.

Chiras, D. (2009). Environmental Sciences, Jones&Bartlett.

Demirbas, A. (2009). "Political, economic and environmental impacts of biofuels: A review." Applied Energy **86**: 108-117.

EPA. (2009). "Combined Heat and Power." Retrieved 14/11/09, 2009, from http://www.epa.gov/chp/basic/index.html.

Gui, M. M., et al. (2008). "Feasibility of edible oil vs non-edible oil vs waste edible oil as biodiesel feedstocks." Energy: 1646-1653.

Haumann, B. F. (1990). Renderers give new life to waste restaurant fats**:** 722–725.

INEGI (2004). SAIC 5.

Kiepper, B., et al. (2001). Characterization of the Generation, Handling and Treatment of Spent Fat, Oil, and Grease (FOG) from Georgia's Food Service Industry Athens, Georgia, University of Georgia.

Li, C.-T., et al. (2003). "Emission of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and Their Carcinogenic Potencies from Cooking Sources to the Urban Atmosphere." Environmental Health Perspectives **111**.

Myers, G. E. (1992). Chapter 7: Soap and detergents. In Inedible Meat By-Producst. London & New York.

Sarmiento, R. (2008). "Primeros desarrollos de producción de biodiesel en México."

Schröder, et al. (2006). Estudio de factibilidad GTZ-BID sobre el biodiesel como combustible para transporte en Mexico.

SENER (2007). Balance de Energía Nacional. S. d. Energía.

SENER (2008). Ley de promoción y desarrollo de los bioenergéticos.

Singh, A., et al. (2009). "A biofuel strategy for Ireland with an emphasis on production of biomethane and minimization of land-take." Renewable and Sustainable Energy Reviews: 12.

Strayer, D., et al. (2006). Food fats and oils. Washington, DC, Institute of Shortening and Edible Oils**:** 37.

Talens, L., et al. (2006). "Exergy analysis applied to biodiesel production." Resources Conservation & Recycling 397-407.

UNF. (2009). "Biomass Conversion Technologies." Retrieved 14/11/2009, 2009, from www.globalproblems-globalsolutions-files.org/.../UNF_Bioenergy_5.pdf.

Van Gerpen, J., et al. (2006). Building a succesful biodiesel business, Biodiesel Basics.

Wiltsee, G. (1998). Urban Waste Grease Resource Assesment, NREL.

ANEXOS

ANEXO A

"BIODIESEL A PARTIR DE ACEITE VEGETAL RESIDUAL: UNA OPORTUNIDAD PARA EL SECTOR TRANSPORTE PÚBLICO DE LA CIUDAD DE MEXICALI"

Marcos Coronado Ortega, Carlos Peñuelas Núñez, Gisela Montero Alpírez, Osvaldo Leyva Camacho, Jesús F. Sosa Gordillo, Conrado García González, Ana Vázquez Espinoza, Héctor Campbell Ramírez.

Capítulo aceptado en el libro "Bioenergía, Biodiesel y Biodiversidad en Zonas Áridas", que será editado por el Departamento de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de la Universidad de Sonora.

BIODIESEL A PARTIR DE ACEITE VEGETAL RESIDUAL: UNA OPORTUNIDAD PARA EL SECTOR TRANSPORTE PÚBLICO DE LA CIUDAD DE MEXICALI

Marcos Coronado Ortega*[1,2], Carlos Peñuelas Núñez*[1,2], Gisela Montero Alpírez[2], Osvaldo Leyva Camacho[3], Jesús F. Sosa Gordillo[4], Conrado García González [1,2], Héctor Campbell Ramírez [2].

[1]Programa de Maestría y Doctorado en Ciencias e Ingeniería
[2]Instituto de Ingeniería, Universidad Autónoma de Baja California
Calle de la Normal S/N, Col. Insurgentes Este, CP 21280, Mexicali, BC
[3]Instituto de Investigaciones Sociales, Universidad Autónoma de Baja California
[4] Unidad de Estudios en Economía Agrícola y Agro empresa, Universidad Autónoma de Baja California
bassman_mc@hotmail.com; carlos.penuelas@gmail.com; gmontero@iing.mxl.uabc.mx; oleyca@yahoo.com, jefsosa@uabc.mx

Resumen

Mexicali tiene una población de 902,983 habitantes, su crecimiento ha sido considerablemente impactado por la industria maquiladora, así como por la exportación y fortalecimiento de su producción agrícola que conlleva al desarrollo comercial en la industria restaurantera. Cuenta con aproximadamente 1,094 establecimientos de preparación de alimentos, cuyos desechos oleicos son enviados en parte a la red de alcantarillado sanitaria, ocasionando con ello problemas de taponamiento y desbordamiento que derivan en emisiones hacia la vía pública, así como proliferación de fauna nociva y malos olores afectando la salud de la población expuesta, viéndose reflejado en altos costos de mantenimiento. El grupo de biocombustibles del Instituto de Ingeniería, inició en el 2008 un estudio con la finalidad de estimar el potencial energético de los Aceites Vegetales Residuales generados por el sector restaurantero de la ciudad, con una producción aproximada de 2.1 millones de litros. En la actualidad estos residuos se han ido posicionando como un insumo valioso desde el punto de vista del mercado energético, principalmente en la producción de biodiesel. Con esta acción, además de revalorizar dichos residuos, se mitiga el impacto ambiental que conlleva su disposición inadecuada. El sector transporte representa una oportunidad para la utilización de este biocombustible para lograr

estándares de sustentabilidad, ya que actualmente la participación de este sector que utiliza combustibles fósiles, en las emisiones de Gases de efecto invernadero es alta, y se estima un crecimiento de 70,000 toneladas anuales en el 2005 a 200,000 toneladas para el 2025. Se estima que la demanda de diesel en Mexicali en el sector transporte público es de 7.17 millones de litros anuales que representan 1.43 millones de litros de Biodiesel para una mezcla B20 (biodiesel 20%, diesel 80%). Por lo que la revalorización de aceites vegetales residuales y su transformación en biodiesel constituye una alternativa técnica y económicamente factible.

BIODIESEL GENERATION FROM RESIDUAL VEGETABLE OILS: AN OPPORTUNITY FOR PUBLIC TRANSPORTATION SECTOR IN MEXICALI, BAJA CALIFORNIA

Abstract

Mexicali has a population of 902,983 inhabitants, its growth has been impacted considerably by maquila industry, exportation, and strengthening of its agricultural production, that leads to commercial development in the restaurant industry. Mexicali has approximately 1,094 food prepared establishments, the oleic waste used in these businesses are sent partially trough sewer system. The oleic discharges cause plugs and overflows in the sewer system, that result in emissions to public spaces, proliferation of nocive fauna, and foul smell affecting health of exposed population, which is reflected in high costs for maintenance. The biodiesel group of Instituto de Ingeniería, started in 2008 a research with the objective to determine the energy potential of residual vegetable oils (RVO) generated by the restaurant sector in the city, approximately 2.1 millions of liters. Nowadays, RVO have taken position as a valuable input in the energy market, especially in biodiesel production. In this way, wastes reassess, and environmental impact is mitigated. Transportation sector represents an opportunity to apply this potential sustainable technology. Transportation sector observes a high participation in greenhouse gas emissions (GHG). In 2005, it was predicted an annual increase of 70,000 tons,

which will increase to 200,000 tons by 2025. It is estimated that public transportation in Mexicali demands annually 7.17 millions of diesel liters, which represents 1.43 millions of biodiesel liters to obtain a blend B20 (Biodiesel 20%, diesel 80%). Therefore, it stands out as a feasible technical and economic alternative.

Panorama actual en la región

Mexicali es la capital del estado de Baja California, se encuentra ubicada en la región noroeste de México en la frontera con Estados Unidos de América (Ver Figura 1). Se considera multicultural ya que convergen las culturas mexicana, estadounidense y china. Debido a estas características se ofertan diversos tipos de cocinas que presentan diferentes procedimientos de preparación de alimentos, resaltando en algunos tipos, el alto contenido de aceites y grasas utilizado en sus alimentos preparados.

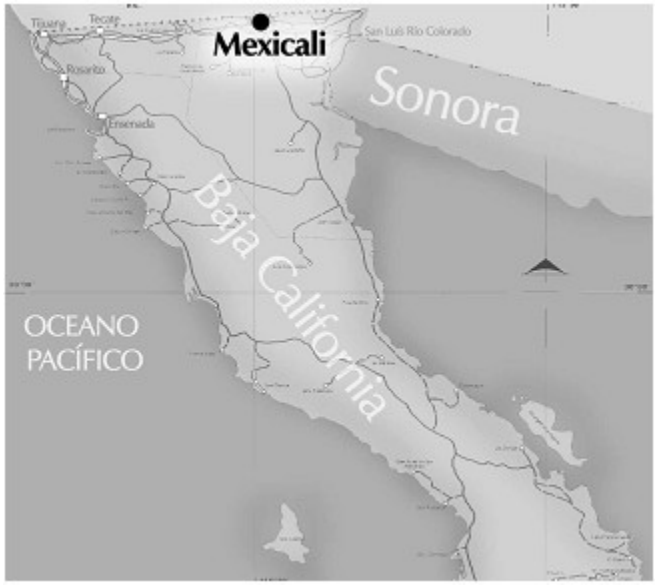


Figura 1. Ubicación geográfica del municipio de Mexicali

Observando la dinámica demográfica poblacional y sus hábitos de alimenticios se destaca el hecho de que la población cada vez consume con mayor frecuencia alimentos fuera de casa,

dando como resultado un incremento en los volúmenes generados de Aceites Vegetales Residuales (AVR) en los restaurantes de la ciudad.

Hoy en día los AVR representan un problema para el medio ambiente cuando son descargados directa o indirectamente al sistema de alcantarillado sanitario causando bloqueos y desbordamientos que derivan en emisiones del sistema de alcantarillado hacia la vía pública. En este sentido, se pretende cambiar el paradigma existente respecto a los aceites vegetales residuales, dejando de asociarlos como desechos problemáticos y comenzar a visualizarlos como posible materia prima en la producción de biodiesel.

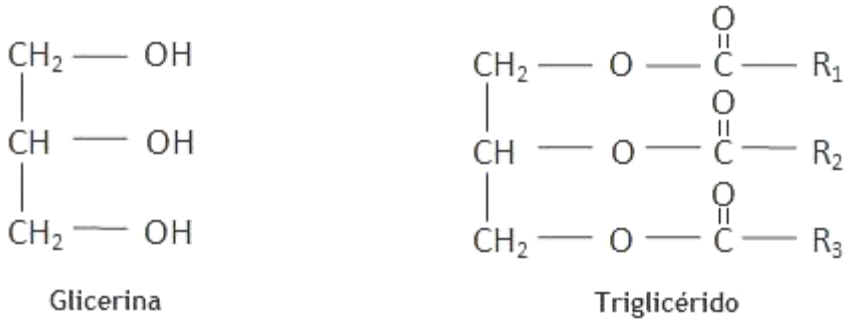
Actualmente, en Mexicali es nulo el uso de biodiesel, sin embargo, los índices de emisiones hacen que sea urgente tomar medidas alternativas para mejorar la calidad del aire, por tanto, es importante desarrollar métodos viables que permitan aprovechar los recursos naturales y públicos en beneficio tanto de la salud como de la economía de la población. El contexto geoeconómico de la vida urbana de Mexicali ofrece retos de investigación pertinentes.

La problemática de Gases de Efecto Invernadero (GEI) generados en la ciudad ha ido en incremento. Estudios desarrollados como inventarios de emisiones, reportan altos índices de CO_2, SO_2 y PM_{10} por parte del sector transporte público.

En este sentido el sector transporte constituye un factor importante para promover el uso del biodiesel, el segmento del transporte público urbano representa un candidato potencial para iniciar un proyecto de escala comercial con integración de servicios que mejoren tanto las condiciones ambientales como las de competitividad. Por ello, es necesario determinar los requerimientos y materias primas disponibles en la localidad para la producción de biodiesel, con el fin de evaluarlos técnica y económicamente.

Aceites y grasas

Los aceites vegetales y grasas animales están compuestos principalmente de triglicéridos que resultan de la combinación de una unidad de glicerina con tres unidades de ácidos grasos (R_1, R_2 y R_3), tal como se muestra esquemáticamente en la Figura 2.



.

Figura 2. Molécula de glicerina y triglicérido.

Son insolubles en agua, pero solubles en la mayor parte de los solventes orgánicos. Tienen densidades menores al agua, y presentan consistencias a temperatura ambiente, ya sean sólidas, semisólidas o líquidas. Cuando se encuentran a temperatura ambiente y están en estado sólido, se les denota como grasas, y cuando se presentan en estado líquido son llamados aceites, esto sucede en la mayoría de los compuestos oleicos (Strayer, Belcher et al., 2006).

El perfil de ácidos grasos es probablemente el parámetro más importante para saber si se trata de un aceite vegetal o grasa animal. Los aceites vegetales tienden a contener más ácidos grasos insaturados (poseen dobles enlaces) lo que le da más flexibilidad a la cadena de ácidos grasos, y estos se mantienen separados a temperatura ambiente, formando una estructura líquida. Mientras que las grasas tienden a contener más ácidos grasos saturados que se acomodan muy juntos, y forman una estructura sólida a temperatura ambiente.

Perspectiva de los Aceites Vegetales Residuales en Mexicali

Los AVR son aquellos aceites que han visto alteradas sus propiedades físico-químicas, debido a su uso de manera discontinua o continua en procesos de preparación de alimentos. Se ha identificado que las principales fuentes generadoras de estos residuos son las siguientes:

- Sector Restaurantero, incluyendo comedores industriales.
- Sector Residencial.
- Sector Industrial de alimentos.

Debido a los grandes volúmenes de AVR que son generados anualmente en la ciudad y a las diversas características que hacen de ellos una materia prima valiosa y atractiva en diferentes procesos, representan una alternativa desde el punto de vista de negocios, que ha ido adquiriendo un mayor auge en la actualidad. Por lo que se ha creado una competencia en el mercado y al mismo tiempo un encarecimiento en los precios de dichos residuos.

El precio promedio internacional del AVR se ha mantenido desde el 2007 hasta la fecha en aproximadamente 10 centavos de dólar por litro (Demirbas, 2009), mientras que en la ciudad de Mexicali a partir del 2008 la competencia entre las empresas que se dedican a su recolección ha provocado rápidamente una alza sustancial en los precios, pasando de 7 centavos hasta 30 centavos de dólar por litro en el 2009. De esta manera los establecimientos de preparación de alimentos se ven ampliamente beneficiados al vender los AVR que son generados en sus establecimientos. Es importante conocer cuáles son los precios de los AVR en el mercado y su comportamiento, si se pretende llevar a cabo una inversión, para su reaprovechamiento en algún proceso productivo.

Actualmente existen 7 empresas que cuentan con certificación por parte de la Dirección de

Ecología Municipal, para operar y otorgar el servicio de recolección de AVR en la ciudad. Los Usos y destinos finales de estos residuos son los siguientes:

- Planta de producción de biodiesel ubicada en Coachella, California. Los AVR son exportados hacia la unión americana con el propósito de ser reutilizados como materia prima en la producción de biocombustible.
- Ganaderías. Son vendidos por las empresas recolectoras a ganaderas, para su uso en alimentación de ganado.
- Tiraderos clandestinos. Es importante mencionar, la existencia de empresas que no cuentan con los permisos pertinentes para operar legalmente en la prestación de servicios de recolección de AVR, por lo que se han detectado tiraderos clandestinos a los que están acuden para verter sus desechos.

Biodiesel

El biodiesel se define según la ASTM como una mezcla de ésteres monoalquílicos de ácidos grasos de cadena larga derivados de lípidos renovables tales como aceites vegetales o grasas animales (ASTM, 2008). El biodiesel se obtiene mediante una reacción de transesterificación (Ver Figura 3), que consiste en reemplazar el glicerol por un alcohol de cadena corta, como el metanol o el etanol, de forma que se produzcan ésteres metílicos o etílicos de ácidos grasos, considerando dos rutas, la catálisis alcalina y la ácida. La catálisis ácida, por lo general, se utiliza para mejorar el rendimiento de la reacción, ya que la mayoría de las mezclas de aceite vegetal residual presentan exceso de ácidos grasos libres, que se forman por someterse a periodos prolongados de calentamiento. Es por ello que se considera un pretratamiento ácido, para después proceder a la catálisis alcalina, utilizando hidróxido de sodio o de potasio.

La calidad del biodiesel depende principalmente de la materia prima y de los reactivos que se necesitan para llevar a cabo la reacción de transesterificación. Para determinar qué calidad obtenemos de biodiesel, se realizan pruebas según las especificaciones de la Norma ASTM D6751. Entre las que destacan: punto flash, agua y sedimento, viscosidad cinemática, ceniza sulfatada, azufre total, corrosión de tiras de cobre, número de cetano, punto de nube, residuo de carbono y número ácido, glicerina libre, glicerina total, fósforo y destilación al vacío punto final.

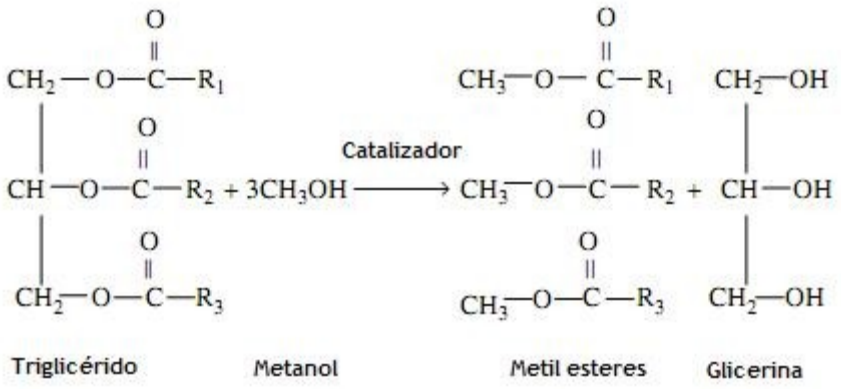


Figura 3. Reacción de Transesterificación

Las proporciones aproximadas de reactivos y productos en la obtención de biodiesel se pueden observar en la Figura 4.

Figura 4. Proporciones aproximadas de la reacción para obtener biodiesel.

Existen varias razones por las cuales es pertinente fomentar el desarrollo de biodiesel a partir de AVR, entre las que se pueden mencionar las siguientes (Canacki, Gerpen, 2001) (Van Gerpen, Pruszko et al., 2006):

- Representa un método sustentable, en el que se revaloriza y reaprovecha un recurso con un alto contenido energético, para producir un combustible más limpio. De esta manera se deja de desechar un recurso valioso desde el punto de vista energético, y al mismo tiempo se ve ampliamente beneficiado el medio ambiente, así como la sociedad en general.
- Evita el uso de cultivos oleaginosos comestibles en la producción de biodiesel, por lo que no se pone en riesgo la seguridad alimentaria, ya que se trata de la reutilización de un residuo.
- Es una oportunidad para diversificar la matriz energética, basada tradicionalmente en combustibles fósiles.
- Reduce la dependencia de combustible fósiles.
- Las emisiones de bióxido de carbono se integran al ciclo de carbono de las plantas de donde se extraen los aceites.
- Tiene excelentes propiedades lubricantes.
- Provienen de una fuente renovable.
- Constituye una oportunidad para mitigar el impacto ambiental ocasionado por las emisiones de gases de efecto invernadero, responsables del calentamiento global.
- Son biodegradables.

Estudio para la estimación de la generación de AVR en el sector restaurantero de Mexicali (2008).

En los restaurantes de la ciudad de Mexicali, no existe una cultura ambiental para dar un manejo adecuado a los aceites y grasas después de su utilización, por lo que en gran parte de los casos son desechados hacia el sistema de alcantarillado sanitario. Actualmente no se cuenta con un

estimado del volumen generado de residuos oleicos, y constituye uno de los objetivos de la presente sección.

El grupo de biocombustibles del instituto de ingeniería, elaboró el presente estudio con el motivo de tener un esquema general acerca de la generación de aceites residuales por parte del sector restaurantero de la ciudad de Mexicali, Baja California, para el año 2008, el cual resulta esencial para poder determinar el potencial del aprovechamiento de esos residuos en la producción de biodiesel. A continuación se reporta la metodología empleada, así como sus resultados.

En una primera etapa se procedió a identificar el número de establecimientos de preparación de alimentos existentes en la ciudad. Posteriormente se buscó información, en la Cámara Nacional de la Industria Restaurantera y Alimentos Condimentados (CANIRAC), donde se obtuvo una base de datos con los restaurantes afiliados a la organización. Entre otras fuentes de información consultadas, se encuentra el directorio telefónico, la página electrónica de turismo de Mexicali, Secretaría de Turismo, el SAT (Sistema de Administración Tributaria), así como la identificación en campo de los distintos restaurantes de la ciudad mediante el recorrido en automóvil por la ciudad de Mexicali.

De acuerdo a Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), en la ciudad de Mexicali se encuentran 1,094 establecimientos de preparación de alimentos en los que se incluyen restaurantes con servicio de meseros, restaurantes de autoservicio y de comida para llevar.

La oferta gastronómica en Mexicali es diversa, por lo que se desarrolló una clasificación por tipología de comida, en la cual aparecen las más representativas, por el número de establecimientos localizados en la ciudad: rápida, china, mexicana, internacional, japonesa, italiana y mariscos.

A continuación se enlistan los aceites y grasas más utilizados en los establecimientos de preparación de alimentos: a) soya, b) maíz, c) olivo, d) mantequilla, e) manteca, f) girasol y g) canola.

El siguiente paso consistió en establecer el tamaño de muestra de restaurantes, dando como resultado aproximadamente el 10 % del dato extraído de INEGI, que reporta la existencia de 1094 restaurantes, lo cual es estadísticamente aceptable.

El proceso de levantamiento de información se llevó a cabo utilizando como instrumento principal las encuestas, en el que se procedió a visitar los restaurantes y entrevistar a las personas indicadas para obtener información confiable y pertinente.

A partir de la muestra obtenida, procesamiento y análisis de la información, se obtuvieron los resultados que se aprecian en la Tabla 1.

Tabla 1. Volúmenes y porcentajes de generación de AVR por categoría.

Tipos de cocina	Volúmenes de generación anual (litros)	Porcentajes
Rápida	1,091,391	51%
Mexicana	283,538	13%
Internacional	288,856	14%
China	206,486	10%
Mariscos	168,319	8%
Japonesa	84,975	4%
Italiana	15,484	1%
TOTAL	2,139,048	100%

El volumen total estimado de generación a partir de la muestra observada, se calculó conservadoramente en 2.1 millones de litros anuales de AVR.

Como se puede observar, el tipo de cocina que presenta el mayor volumen de generación es la cocina rápida, por su alto consumo de aceite en sus procedimientos de preparación de alimentos, en los que las freidoras son utilizadas con una frecuencia mayor, siendo más precisos, en la elaboración de papas fritas, así como los empanizados de carne para hamburguesas.

La cocina internacional se posiciona en el segundo lugar, le sigue en orden de importancia la cocina mexicana, posteriormente la cocina china, la cual ha formado parte del paladar mexicalense a través de los años. Y por último se encuentra situada la cocina italiana con el menor volumen de generación de aceites, esto se debe a que gran parte del aceite utilizado es retenido en los alimentos preparados.

Un dato alarmante es el relacionado con la frecuencia con la que se realiza el cambio de AVR por aceite nuevo, ya que se lleva a cabo en un promedio de cada 5 días, lo cual desde el punto de vista de salud pública es sumamente nocivo para el ser humano, por los compuestos cancerígenos que se forman, tales como los hidrocarburos aromáticos policíclicos, conocidos como PAH por sus siglas en inglés, debido a su reutilización repetitiva en los procesos de preparación de alimentos. Entre estos compuestos, cabe señalar que es común la formación de benzo(a)pireno (Li, et al., 2003).

Los resultados también reportan que el 83.3% de los restaurantes encuestados (ver Figura 5), ofrecen sin costo alguno el volumen de aceite residual generado, con la condición de la empresa o particular recolecte y disponga del residuo. El 8% paga por el servicio de recolección de aceites y limpieza de trampas de grasa. El 6% corresponde a aquellos establecimientos que desechan los residuos al drenaje.

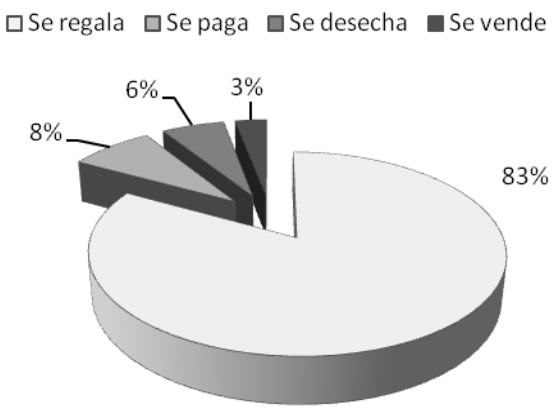


Figura 5. Disposición del residuo.

El 3% final representa a los restaurantes que obtienen ganancias por concepto de venta de sus residuos, siendo el precio por litro de 7.3 centavos de dólar americano.

Como parte de los resultados, también se logró identificar los destinos de los volúmenes generados (Ver Figura 6).

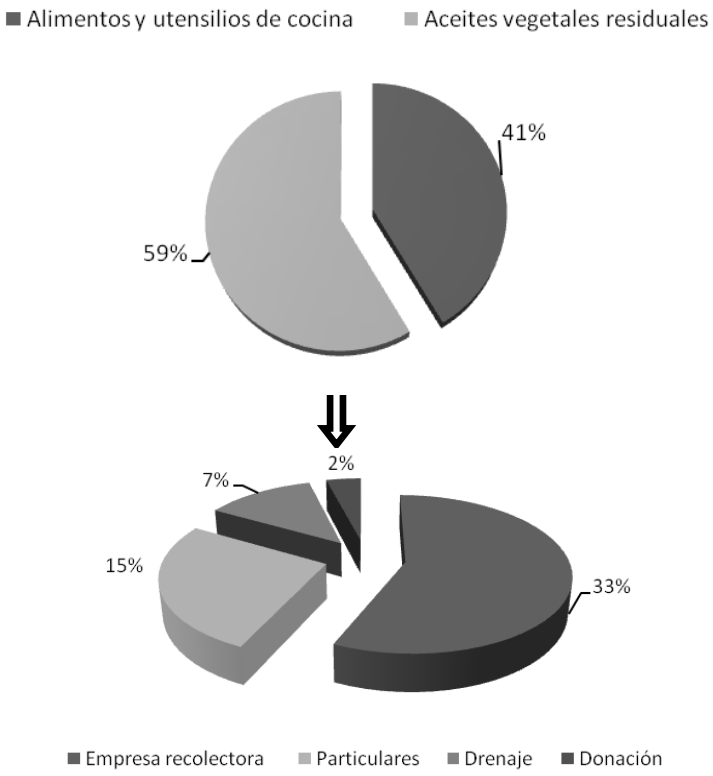


Figura 6. Destino de los aceites vegetales residuales.

La Figura 6 refleja que de la cantidad de aceite que se utiliza en la preparación de alimentos, el 41.45% se consume en alimentos o se desecha en los utensilios de cocina, mientras que el 58.55% restante se convierte en aceite residual. También se aprecia que este porcentaje de desechos tiene diferentes destinos y puede observarse que un tercio de tales residuos son recolectados por empresas dedicadas a tal actividad, en tanto que un estimado de 88,300 litros de AVR son enviados al drenaje municipal.

Entre otros resultados, también se llevó a cabo la distribución espacial de los restaurantes en Mexicali, mediante el uso de un Geoposicionador satelital, en el cual se obtuvieron las direcciones geográficas en coordenadas UTM para la zona 11 N de cada establecimiento de preparación de alimentos, para posteriormente colocarlas sobre una imagen satelital. (Ver Figura 7).

Figura 7. Distribución espacial de restaurantes en Mexicali.

Según el mapa obtenido, las zonas de mayor concentración de restaurantes se encuentran en las siguientes ubicaciones de la ciudad: Blvd. Anáhuac, Blvd. Gral. Lázaro Cárdenas, Nuevo Mexicali, Blvd. Benito Juárez, Blvd. Justo Sierra, Zona centro, Centro Cívico, Calz. CETYS

Generalmente existe una mayor densidad de restaurantes en aquellos lugares donde se ubican corredores comerciales y avenidas principales. Asimismo, sosteniendo entrevistas con personal de la Comisión Estatal de Servicios Públicos de Mexicali (CESPM), se confirmó la existencia de una relación entre la densidad de restaurantes con una mayor incidencia de la problemática de taponamiento.

Modelo de simulación para la estimación de los volúmenes de AVR

En base a la información obtenida del estudio anterior, se procedió a la elaboración de un modelo dinámico en el software STELLA, que ayude a simular el comportamiento de generación de aceites vegetales residuales para un periodo de 10 años.

Las variables utilizadas para alimentar el modelo se muestran a continuación:

- Dinámica de crecimiento poblacional. Es un factor determinante en la demanda de aceites y en el sector restaurantero, ya que precisamente en ella se encuentran los comensales que asisten con cierta frecuencia a los restaurantes. Los datos correspondientes a las proyecciones de la población, se tomaron de la base de datos del Consejo Nacional de Población (CONAPO) para el periodo 2008-2017
- Dinámica económica del sector restaurantero
- Número de establecimientos de preparación de alimentos
- Tipos de cocinas
- Demanda de aceite vegetal
- Destinos de aceites vegetales residuales

En la figura 8 se muestra el esquema general del Modelo desarrollado en Stella.

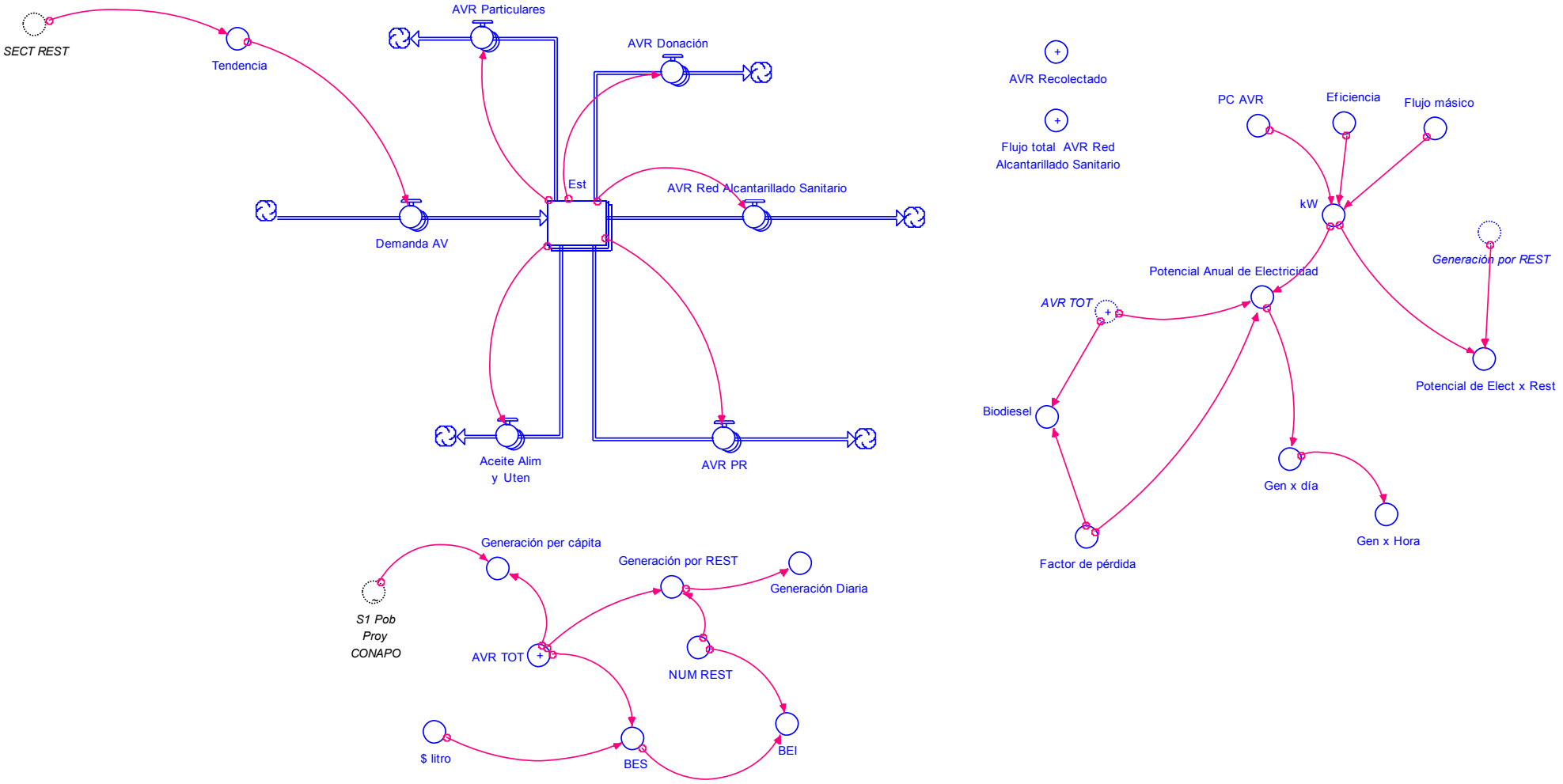


Figura 8. Esquema general del modelo desarrollado en Stella.

El tiempo estipulado para llevar a cabo la simulación, es con una proyección a 10 años (2008-2017). Los volúmenes futuros se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2. Indicadores de generación de AVR.

Año	Generación per cápita [litros]	Generación por Restaurante [litros]
2008	2.43	2,118.84
2009	3.13	2,741.32
2010	3.15	2,777.27
2011	3.20	2,841.14
2012	3.22	2,876.33
2013	3.20	2,883.64
2014	3.18	2,879.02
2015	3.15	2,872.28
2016	3.12	2,866.89
2017	3.11	2,864.08

El comportamiento del modelo para el año 2008 es muy similar al calculado en el estudio elaborado para ese mismo año. Posteriormente se destaca un incremento en los volúmenes de generación año tras año, con ciertas variaciones, manteniéndose en un promedio de generación de 3, 000,000 de litros (ver Figura 9).

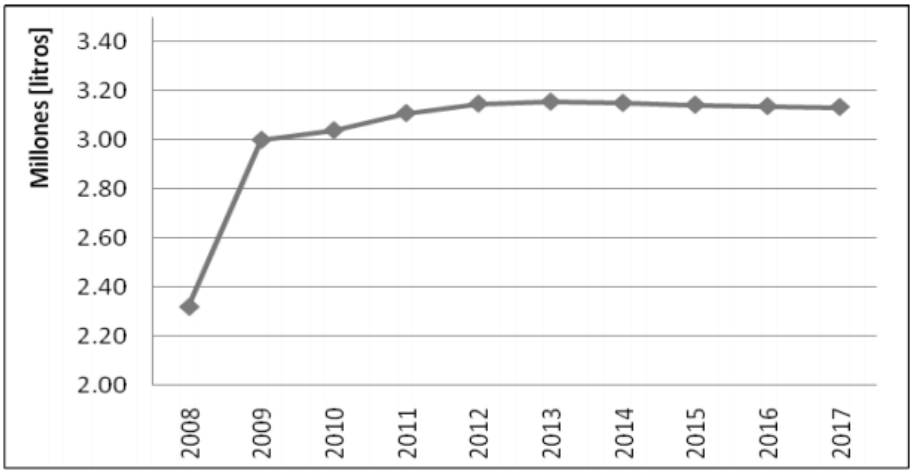


Figura 9. Comportamiento de la generación de AVR, periodo 2008-2017.

La generación per cápita promedio para los años simulados se sitúa en 3.09 litros, mientras que la generación por restaurante en 2772.09 litros anuales.

Potencial energético de los AVR y uso de tierra

La utilización de residuos para energía no requiere de tierra de cultivo y tiene el beneficio adicional de proveer un manejo de residuos sustentable. Un estudio denominado "Exergy analysis applied to biodiesel production" reporta que la exergia química de los aceites vegetales residuales se estima en 30 MJ/kg (Talens, Villalba et al., 2006). Partiendo de los 3 millones de litros de AVR promedio anual, pronosticados para los próximos 10 años en la ciudad de Mexicali, estaríamos hablando de un potencial energético de 81,000 GJ/año. Si esta energía proviniera por ejemplo de biodiesel de semilla de canola, se necesitarían 17.61 km^2 de tierra (representa el 1% de la superficie total de tierra de cultivo del Valle de Mexicali) para proveer la semilla necesaria para dicha energía (Singh, Smyth et al., 2009). Este es un ejemplo del potencial de los biocombustibles a partir de los residuos para minimizar el uso de la tierra.

Estudio del Sector Transporte Público.

Durante las últimas décadas el crecimiento de la ciudad de Mexicali, ha experimentado cambios significativos en su estructura social y económica, observándose una expansión del desarrollo urbano con necesidades implícitas en vías de comunicación y transporte, las condiciones climáticas que imperan en Mexicali hacen necesario que se implementen soluciones de alta eficiencia económica y energética respecto al sector transporte, el número de vehículos es muy alto y tienden a incrementarse si no se implementan

programas que conduzcan a un uso más racional del transporte particular combinados con una mejora del transporte público.

Del mismo modo, el crecimiento del municipio ha estado condicionado por el patrón de consumo y la evolución de los precios de los energéticos y ante esta situación, la inexistencia de una política con valor público para Mexicali que ofrezca certidumbre al abasto de combustible, la disponibilidad y consumo energético se torna compleja, trasladando finalmente al usuario los costos adicionales, resultando desequilibrios entre el ingreso y gasto de los hogares de Mexicali. Estos desequilibrios podrían acentuarse en el futuro si no se toman medidas de ajuste y de cambio tecnológico. Asociado a lo anterior, los precios de los combustibles experimentarán escaladas importantes, alterando la estructura de costos y consecuentemente la competitividad.

Ante esta situación, el reto del cambio climático y las oportunidades de desarrollo para el sector transporte, son factores determinantes para el cambio tecnológico en el sector que ofrecen oportunidades para la producción y uso de biodiesel.

Ante este panorama energético, se presenta una gran oportunidad para reactivar la actividad económica del Valle de Mexicali y posicionarlo como un importante proveedor de materias primas para producir biodiesel y otros biocombustibles en Baja California. Con el agotamiento progresivo del petróleo y la indecisión de modificar la política energética del país, es oportuno tomar la iniciativa en la investigación y desarrollo respecto a las redes de suministro de biodiesel que ofrezcan ventajas competitivas al sector transporte de la entidad. Además de abatir en un futuro inmediato la fuga de capital al extranjero por importación.

La producción de biodiesel constituye una oportunidad para el Valle de Mexicali, dado que generaría impactos económicos y sociales positivos, contribuyendo a la diversificación del suministro y a la estabilidad de precios, reduciendo los riesgos asociados con la alta dependencia del combustible convencional. Además producir biodiesel permitiría contar con un ahorro de divisas por reducción de importaciones y abatimiento de gastos en subsidios.

Mexicali tiene la oportunidad de liderar el mercado regional al contar con mejores ventajas comparativa respecto a otras entidades del país, el aprovechamiento de las materias primas disponibles que impactaría de manera positiva, las condiciones geoeconómicas, la disponibilidad de tierra, agua y los insumos principales para la producción de biodiesel, además se cuenta con los institutos de investigación, entre otros factores, como la existencia de un mercado potencial de biodiesel proveniente de los automotores a diesel urbanos, agropecuarios, marinos y de los motores fijos utilizados en el bombeo de pozos.

En este sentido Sosapavón (1989) advierte que de no diversificar las fuentes de energía y mantener una estructura energética dependiente de los combustibles derivados del petróleo, se correrá el riesgo de la deformación estructural que puede traer graves consecuencias en los próximos años, cuando empiece agotarse el petróleo. Es preciso continuar investigando e invertir para alejarse de la dependencia de los combustibles derivados del petróleo, por lo que es necesario tener una visión estratégica de cambio tecnológico.

Aunado a lo anterior el mejor instrumento para aplicar las políticas de sustentabilidad ambiental es el fortalecimiento de las fuentes renovables de energía de la región para reemplazar la quema de hidrocarburos pesados (Quintanilla, Fischer, 2003). No obstante, hay que tener cuidado con la estructura de un mercado destinado para productores y

usuarios de fuentes alternas de energía, porque cualquier intento de forzar su utilización fuera de su momento y lugar, podría ser ineficiente y solamente incrementaría los costos involucrados.

Para efecto de estudio del parque vehicular es necesario analizar y observar el comportamiento de la demanda de este nicho de mercado, por lo que el estudio se enfocó al Transporte Público de Mexicali motorizado a base diesel.

Las empresas vigentes en el padrón del Sistema Municipal de Transporte Público de Mexicali como concesionarias del transporte colectivo urbano y suburbano ascienden a 16, mismas que a su vez cuentan con 972 unidades registradas en 39 rutas avaladas por el sector (SMTP, 2009).

La modernización del transporte en Mexicali avanza, ya para muestra, el 61% de los autobuses urbanos de pasajeros ha sido renovado, es decir, de las 527 unidades que recorren las diferentes rutas de la ciudad, 321 cuentan con una antigüedad de cinco años o menos. Ante esta situación, el reto del cambio climático, las oportunidades de desarrollo para el sector transporte, son factores determinantes para el cambio tecnológico.

Por otra parte, el rezago en la investigación y transferencia tecnológica en materia de energía renovable, la disponibilidad de los insumos y el potencial de un mercado regional para el uso de biocombustibles, ofrece una gran oportunidad de negocio para generar nuevas fuentes de energía en Baja California. Por tales razones, resulta pertinente el desarrollo de proyectos que evalúen y apoyen las iniciativas de políticas y programas de apoyo sustentable en la ciudad de Mexicali.

Inventario de Unidades

El padrón de unidades registradas asciende a 972 unidades distribuidas en las 16 concesionarias, de las cuales actualmente se encuentran operando 527 unidades. En la tabla 3 se muestra el número de unidades y modelos por concesionaria.

Para efectos de estudio se consideró un rendimiento promedio de 5.5 litros por kilómetro recorrido, puesto que el parque vehicular que circula el promedio de los modelos es de 1988, tomando el rendimiento más bajo según el Inventario de Emisiones para Mexicali.

El poder calorífico neto (PCN) del Diesel (SENER, 2007) es de 35.32 MJ/L aproximadamente, mientras que el estimado para Biodiesel es de 32.93 MJ/L (NREL, 2009), mismo que representa en este sentido una desventaja frente al Diesel convencional.

Tabla 3. Número de unidades del Sector Transporte Público motor diesel circulando en Mexicali.

Empresa	**Modelo**	**Unidades**	**%**
Sociedad cooperativa de Transporte Estrella del Norte S.C.L	1987	63	11.93
Autotransportes Urbanos S.A. de C.V. (ATUSA)	2004-2006	107	20.27
Sociedad Cooperativa de transporte Azul y Blanco S.C.L.	1987	16	2.98
Autotransportes Fernando Amilpa S.A. de C.V.	1986	40	7.51
Sociedad Cooperativa de Autotransportes Amarillo y Blanco S.C. L	1988-1989	96	18.21
Transportes Urbanos y Suburbanos Cachanilla S.A. de C.V.	1987-1989	72	13.68
Autotransportes Urbanos de Pasajeros en Microbuses S.A. de C. V	1986	35	6.69
Soc. Coop. De Transporte MALPICA del Norte S.C. L	2004	13	2.47
Sociedad Cooperativa de Transportes Urbanos Fausto Vázquez S.C. L	1986	13	2.47
Transportes H&I S.A. de C.V.	1989	8	1.54
Autotransportes de Servicios Mixtos del Valle de Mexicali S.A. de C.V.	1982	12	2.37
Transportes Miguel Siga	1982	10	1.85
Transportes Miguel Gutiérrez Banaga S. A. de C. V.	1982	8	1.44
Transportes Especiales de Baja California S.A. de C.V.	1987	4	0.82
Autotransportes Misioneros de la Baja S. A. de C.V.	1989	16	3.09
Transportes Modernos de Mexicali S.A. de C.V.	1990	14	2.67
Total	**1988**	**527**	**100**

Resultados

La metodología utilizada para la obtención de distancias de las rutas diseñadas se sustenta en el mapeo y trazo de líneas ya estructuradas y monitoreadas por el Sistema Municipal de Transporte Público (Ver Tabla 4).

Tabla 4. Indicadores de demanda de Diesel del Sector Transporte Público en Mexicali.

Empresa	Longitud ida y vuelta kms	Corridas diarias	Litros consumidos	Consumo anual (litros)
Sociedad cooperativa de transporte Estrella del Norte S.C.L	303.82	562.85	**3,581**	**1,289,232**
Sociedad Cooperativa de Autotransportes Amarillo y Blanco S.C. L	312.82	506.50	**4,046**	**1,456,660**
Autotransportes Urbanos S.A. de C.V. (ATUSA)	323.17	555.42	**4,666**	**1,679,902**
Transportes Modernos de Mexicali S.A. de C.V.	110.18	167.20	**1,679**	**604,310**
Sociedad Cooperativa de Transportes Urbanos Fausto Vázquez S.C. L	77.42	114.00	**787**	**283,168**
Soc. Coop. De Transporte MALPICA del Norte S.C. L	38.7	44.00	**310**	**111,456**
Sociedad Cooperativa de transporte Azul y Blanco S.C.L.	43.26	81.70	**643**	**231,339**
Transportes Urbanos y Suburbanos Cachanilla S.A. de C.V.	173.30	251.50	**1,992**	**717,077**
Autotransportes Fernando Amilpa S.A. de C.V.	91.88	211.50	**1,156**	**416,036**
Autotransportes Urbanos de Pasajeros en Microbuses S.A. de C. V	103.96	169.90	**1,052**	**378,734**
Totales	**1,578.51**	**2,664.57**	19,911	7,167,914

Derivado de lo anterior se obtienen los siguientes indicadores del sector: 260.51 kilómetros promedio diario recorridos por unidad, 40.9 km longitud promedio de rutas, 67.06 corridas diarias promedio por ruta, 47.37 litros promedio diarios consumidos por unidad, 17,071.51 litros promedio anuales por unidad.

Tabla 5. Comparativo energético Diesel vs Biodiesel (B20).

Combustible	PCN [MJ/L]	Consumo [L/año]	Demanda energética STMP [GJ/año]	Demanda energética Diesel Baja California GJ/año (UABC, 2006)
Diesel convencional	**35.32**	**7,167,914**	**253,171**	**1,900,000**
Biodiesel	32.93	1,433,583	47,208	
Diesel	35.32	5,734,331	202,537	
Mezcla B20	**34.84**	**7,266, 251**	**253,171**	

La estimación de la demanda del mercado potencial del diesel, asciende aproximadamente a 7.17 millones de litros anuales, de los cuales 1.43 millones corresponde a biodiesel. Se requiere de un excedente de 98,337 litros anuales de biodiesel (B20) para satisfacer la demanda energética puesto que el biodiesel tiene un poder calorífico inferior en un 7% respecto al diesel convencional. El plan de comercialización contempla el 20% de Biodiesel y 80% de Diesel cubriendo con esto la demanda anual del Sector Transporte Público. La participación del sector transporte público de Mexicali respecto al consumo de Diesel en el Estado es del 13%.

Materia prima potencial

Por otro lado la materia prima potencial disponible en la región delimitada para esta investigación es aceite de la semilla de algodón y grasa proveniente de rastros locales, así como los aceites residuales de la industria restaurantera, sometida a diferentes tratamientos y escenarios de producción con tecnologías probadas.

El propósito del análisis de la generación de AVR de los restaurantes en Mexicali, tuvo como finalidad determinar la materia prima disponible para la producción de biodiesel. Como resultado se obtuvo que el estimado proyectado en el estudio es de 2.13 millones de litros anuales, por lo cual es factible la producción de biodiesel en base a estos indicadores.

De acuerdo con el reporte (SAGARPA, 2007), el potencial de producción de la semilla de algodón se estableció en 48,395 toneladas lo cual representa el 9,679 toneladas de extracción de aceite.

La materia prima generada por los rastros locales se estimó en 6,000 ton anuales, sin embargo, presenta una fuerte competencia en el ámbito comercial ya que es aprovechada para la elaboración de diversos productos derivados de la misma, lo cual genera altos precios de venta.

Existe materia prima disponible en la región, la elección o combinación de ellas se sustenta en indicadores técnico-económicos y la demanda del mercado. En este contexto, se delimitó la producción de biodiesel a partir de aceites vegetales residuales. El flujo para el proceso de obtención de biodiesel conlleva en síntesis un pretratamiento ácido del aceite residual, sometimiento a proceso de transesterificación y finalmente a la obtención de Biodiesel y glicerina como productos.

El ámbito de los combustibles en Mexicali muestra un comportamiento tradicional, sin diversificación e innovación significativa, siendo prioritario aprovechar los recursos y apoyos contemplados en la Ley de biocombustibles, así como los fondos institucionales (CONACYT) para crear nuevas alternativas que den viabilidad al mercado del biodiesel.

Impacto Ambiental (Emisiones de CO_2, Sector Transporte Público)

Para el caso de Mexicali los factores del ámbito geográfico y político interactúan fuertemente en la disponibilidad de materias primas, lo que genera una situación sumamente importante para analizar con mayor detalle, mediante una instrumentación metodológica con capacidad de evaluar no sólo los beneficios técnicos y económicos, sino también las implicaciones sociales y ambientales.

La problemática de los GEI generados en la ciudad ha ido en incremento. Estudios como los inventarios de emisiones para Mexicali reportan proyecciones con altos índices de CO_2, SO_2 y PM10 por parte del sector transporte público (INE, 1998). Las emisiones crecerán de 70,000 toneladas anuales en el 2005 a 200,000 toneladas en el 2025 (UABC, 2006).

Para determinar las emisiones de CO_2 que produce el diesel convencional el cálculo se basó en la siguiente reacción, la cual expresa las cantidades de diesel (1 kg) y aire (14.9) que se necesitan para la combustión, produciendo 3.1 kg de CO_2.

Combustión

Diesel + Aire

$$\mathbf{C_{16}H_{34} + 24.5O_2 + 92N_2 = 92N_2 + 16CO_2 + 17H_2O}$$

A diferencia del diesel convencional, el biodiesel contiene dentro de su composición O_2 el cual participa en la reacción de combustión y por lo tanto requiere menos exceso de aire. Por esta razón se produce menos cantidad de CO_2 durante la combustión, ya que con 1 kg de diesel produce mayor cantidad de CO_2 respecto a 1 kg de biodiesel.

1 kg biodiesel + 12.5 kg de aire = 2.8 kg CO2 (biodiesel a partir de aceite de soya, $C_{19}H_{36}O_2$)

Por lo tanto, la relación aire/combustible es:

Relación diesel 14.9: 1

Relación biodiesel 12.5: 1

Con base en las reacciones de combustión de diesel y biodiesel expuestas anteriormente, enseguida se muestra, en la figura 10, un comparativo entre las emisiones correspondientes de CO_2 del diesel y biodiesel (B20) de las unidades de transporte público por concesionaria.

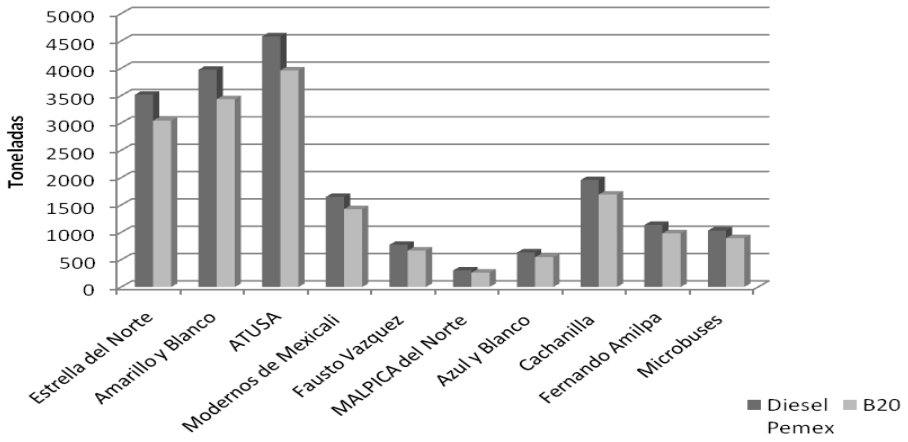


Figura 10. Emisiones de CO_2 diesel vs biodiesel (B20), Sector transporte público.

En resumen, 19,554 toneladas de CO_2 utilizando diesel convencional son emitidas anualmente por el sector transporte público en Mexicali según los indicadores antes previstos, mientras que el estimado para la mezcla biodiesel-diesel (B20) es de 17,863 toneladas de CO_2 emitidas por dicho sector. La figura anterior indica el comportamiento de las empresas con mayor cantidad de emisiones basado en el número de unidades circulando. El promedio de emisión de CO_2 por unidad de transporte público es de 37 toneladas anuales con diesel convencional mientras que con una mezcla de biodiesel sería de 34 toneladas anuales. Por lo tanto las emisiones de CO_2 se reducirían en un 10% aproximadamente que representan 1,691 toneladas anuales utilizando el 20% de biodiesel y 80% diesel convencional en el sector.

Estudio de factibilidad económica

Con base en resultados de los análisis planteados, se propone el desarrollo de una planta de producción de escala comercial, que ofrezca biodiesel a bajo costo, como una alternativa de solución a la problemática del municipio respecto al transporte público y al alto nivel de contaminación por los automotores que usan combustibles derivados del petróleo. La idea de desarrollar este concepto será esencialmente positiva, además de los beneficios económicos, se reducirán los índices de contaminación dado que el biodiesel es un biocombustible de impacto ambiental menor que el diesel.

El objetivo general es establecer una planta de producción de biodiesel a partir del aceite residual generado en los restaurantes. Con el propósito de valorar alternativas sustentables que mejoren la eficiencia y competitividad de transporte público de la ciudad de Mexicali.

Algunos de los objetivos específicos son lo que a continuación se anuncian:

1. Que la planta produzca 2 millones de litros de biodiesel con el propósito reconvertir el 100% del transporte público que utiliza diesel en la ciudad de Mexicali.
2. Que se incremente la producción de biodiesel 35% promedio anual para alcanzar una cobertura de la demanda de 100% en el tercer año de operación de la planta
3. Que se facture por este concepto alrededor de 13.5 millones de pesos promedio por año y operar con costos por debajo del diesel convencional.
4. Que satisfaga la demanda de servicio no solamente en Mexicali sino a municipios vecinos después del 3er. año de operación de la planta.
5. Que se ofrezcan servicios integrales de calidad en abastecimiento y logística.
6. Tener un impacto ambiental con el uso de biodiesel como bioenergía alternativa y colaborar positivamente con los problemas de abastecimiento de energía.

En base al estudio de mercado y el crecimiento futuro del sector transporte público, en la ciudad de Mexicali, se estima un potencial de 527 unidades base diesel que administran diferentes empresas como ATUSA, las cuales buscan tener un crecimiento en el que dichas unidades deben cumplir con un servicio mucho más confortable y de modelos relativamente recientes para lo cual es necesario hacer un recorte de unidades obsoletas para así asegurar modelos no menores a 1998.

Demanda anual

La demanda potencial de biodiesel para el sector transporte es el resultado de multiplicar el número de autobuses base diesel que se consideran factibles de integrar como clientes, por el promedio estimado de kilometraje recorrido por unidad al día. Esto representa el kilometraje de todas las unidades al día, que dividido por el rendimiento por kilómetro recorrido, arroja la demanda de diesel al día del sector. Este resultado se multiplica por la frecuencia de días trabajados y finalmente se obtiene la demanda anual de diesel. Considerando que se utilice una mezcla B20 es decir que contenga 20% de biodiesel y el resto de diesel, se estima entonces que esto representa el 20% de la demanda.

Respecto a la demanda potencial es directamente proporcional al número de unidades en la ciudad, sin embargo, se estimará una oferta proporcional a la capacidad del proyecto que se encuentre monitoreando el cumplimiento de satisfacer al sector transporte público.

Proyección de la oferta

Con las estimaciones anteriores se fundamenta en el comportamiento de la oferta según el reporte del Instituto Nacional de Ecología para el diesel en Sector Transporte (INE, 1998), lo cual genera una planeación para el primer año, resultando los datos siguientes: biodiesel

720,000 litros; glicerina 144,000 litros, atacando en el mismo año 55% del mercado potencial, al final de 5to año se cubre el 100% de la demanda del Sector Transporte Público. (Ver Figura 11 y Tabla 6).

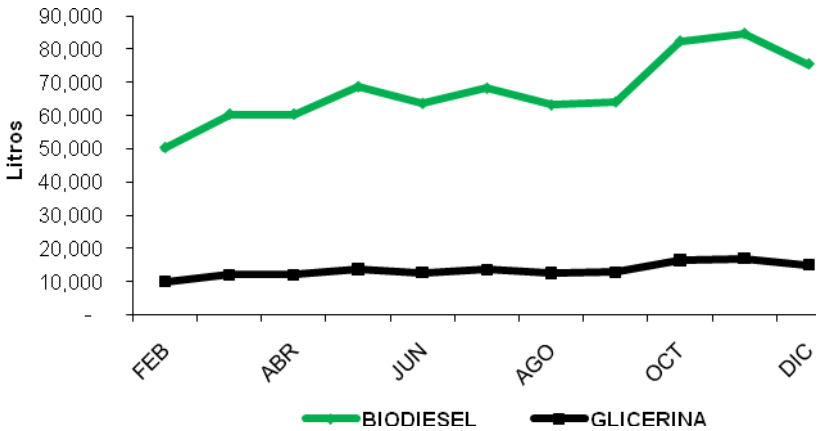


Figura 11. Producción de biodiesel y glicerina basada en el comportamiento de la demanda de diesel en Mexicali (INE 1998).

Tabla 6. Estimación de metas en términos de producción litros de biodiesel.

MERCADO POTENCIAL	1,200,000	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5
META DE MERCADO		55.00%	1.300	1.350	1.380	1.450
META ANUAL		660,000	858,000	1,158,300	1,598,454	2,317,758
META PROMEDIO MES		55,000	71,500	96,525	133,205	193,147
META PROMEDIO SEMANA		13.750	17.875	24.131	33.301	48.287

Necesidades Financieras

La importancia de las expectativas y la reducción de la incertidumbre asociada a la inversión, se centra en las estimaciones del flujo de ingresos y egresos, considerando los cambios inherentes al nivel de precios (inflación) y el costo del dinero en el tiempo (tasa de interés), que permite ajustar el comportamiento del flujo de efectivo ante los posibles cambios de las variables exógenas que rigen la economía del mercado.

Resumen de la inversión y capital de trabajo: este proyecto requiere un volumen de financiación integral que se establece en los siguientes grandes grupos (Ver Tabla 7).

Tabla 7. Inversión total y sus diferentes conceptos.

CONCEPTOS	TOTAL
INVERSION TOTAL	**$ 3,728,981**
COSTOS FIJOS	**$ 2,998,839**
I.-OBRA CIVIL	**$ 261,000**
II.-MAQUINARIA Y EQUIPO	**$ 2,459,639**
III.- OFICINA	**$ 157,200**
IV.-SERVICIOS AUXILIARES	**$ 121,000**
V.- IMPREVISTOS	**$ 113,956**
VI.- INVERSION DIFERIDA	**$ 172,200**

La siguiente tabla (Ver Tabla 8) nos muestra los conceptos de inversión fija, diferida y capital de trabajo que se requiere en el primer año de operación.

Tabla 8. Inversión total y capital de trabajo requerido en 1er. año de operación.

CONCEPTOS	TOTAL
INVERSION TOTAL	**$8,701,794**
I.-INVERSION FIJA	**$2,998,839**
II.-INVERSION DIFERIDA	**$172,200**
III.-CAPITAL DE TRABAJO	**$5,530,755**
1.- Insumos reactor biodiesel	**$4,478,354**
1.1- Aceite vegetal o grasa animal	$1,168,393
1.2- Pretratamiento acido sulfúrico	$1,557,858
1.3.- Metanol	$1,537,898
1.4.- Hidróxido de sodio (Na-oH)	$214,205
2.- Electricidad planta	**$78,788**
3.- Combustibles	**$51,453**
4.- Mano de Obra Directa	**$305,000**
4.- Mano de Obra Directa Ejecutiva	**$300,000**
5.- Mano de Obra Temporal	**$45,000**
6.- Fletes	**$45,000**
8.- Gastos por ventas.	**$38,000**
9.- Gastos Administrativos y Oficina	**$14,400**
10.- Mantenimiento de Equipo	**$40,810**
11.- Asistencia Técnica	**$5,000**
12.- Seguros	**$14,994**
VI.- IMPREVISTOS	**$113,956**
SUBTOTAL	**$8,701,794**

La Figura 12 muestra cómo evoluciona el costo de biodiesel por litro a través del periodo comprendido de 5 años.

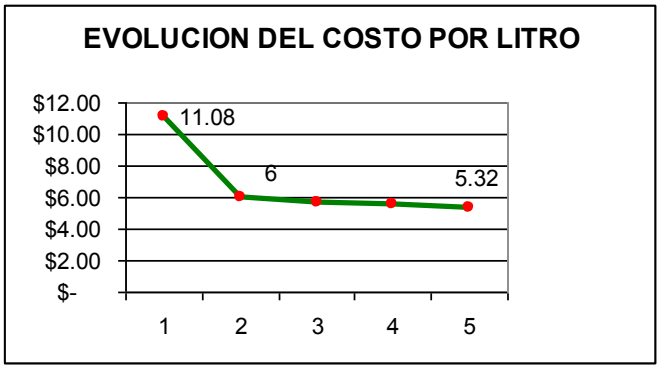


Figura 12. Evolución del costo por litro de biodiesel.

Como se podrá apreciar el proyecto aquí propuesto tiene un valor mayor al costo del capital a invertir, el proyecto muestra una capacidad de generar flujos de efectivo futuros, suficientes para amortizar en 31 meses la inversión (Ver figura 13) dejando un rango de seguridad entre 8 y 10 periodos adicionales. El flujo de efectivo restante es adecuado para cubrir los compromisos de deuda con oportunidad como para proporcionar una tasa de rentabilidad aceptable.

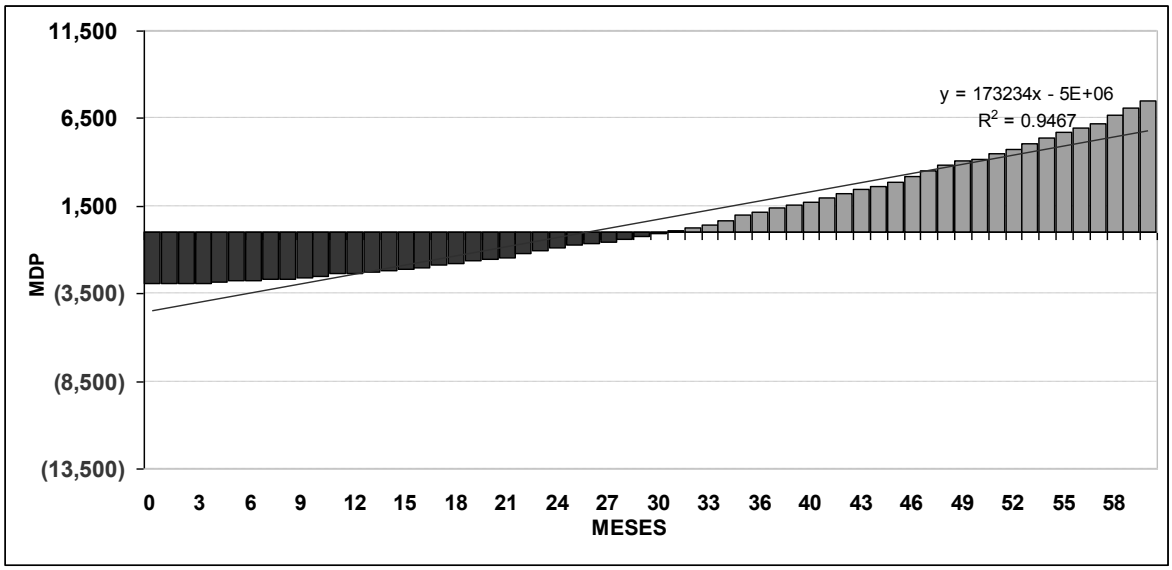


Figura 13. Flujo de Efectivo y tiempo de recuperación.

Tabla 9. Indicadores de rentabilidad.

Indicadores económicos	Valor
Tiempo de recuperación	31
Índice de rentabilidad (IR)	1.83
Flujo en valor actual neto (VAN) 4to año	3,150,954
Flujo en valor actual neto (VAN) 5to año	7,471,303
La tasa interna de rendimiento (TIR) 4to año	55.3%
La tasa interna de rendimiento (TIR) 5to año	64.7%

El plan de negocios presenta condiciones óptimas para ser financiado, su rentabilidad se fundamenta en las estimaciones elaboradas bajo criterios cuantitativos y cualitativos con rigor necesario para dictaminar la factibilidad tanto técnica como económica del proyecto, como lo indican los márgenes generados por el flujo de efectivo (Ver Figura 13) calculados en condiciones económicas reales

Rentabilidad:

1. **El tiempo de recuperación** (TR) explica que el proyecto mantiene su viabilidad al incremento del costo del dinero generado por el flujo de efectivo, al aplicar una tasa de descuento que parte de su punto óptimo para ubicarse con un tiempo de recuperación de 31 meses lo cual lo hace factible para solventar y amortiguar la inversión y a partir de ahí considerar ganancias o utilidades bien remuneradas además que en este punto es donde los ingresos totales recibidos se igualan a los costos asociados con la venta de un producto, por lo tanto, no reporta utilidades o pérdidas.
2. **El índice de rentabilidad** (IR) del proyecto es 1.83 entendido como el rendimiento que genera cada peso invertido en el proyecto descontado a la valor presente, por tanto, el proyecto es aceptable ya que por cada peso invertido se recupera 0.83 pesos adicionales.

3. **El valor actual neto** (VAN) con una tasa de interés bancaria de 19.5 %, establece una corriente de beneficios positivos, generada por la inversión del orden de **$7, 471, 303** pesos al final de un flujo de ingresos netos de 60 meses, siendo la VAN 2 veces mayor a la inversión inicial.

4. **La tasa interna de rentabilidad** (TIR) se cálculo en base al flujo de efectivo neto que generará el proyecto, resultando una rentabilidad de 64.7%, por tanto el proyecto se debe considerar financieramente viable, debido que su TIR es superior en 43.4 puntos sobre la tasa de interés anual de 19.5%.

Riesgo:

1. El análisis de sensibilidad sugiere un amplio margen de operación, los efectos causados por la magnitud de cambio de las variables ofrecen un nivel de certidumbre ante posibles variaciones, hay que tener un debido cuidado con en el manejo de los costos, sobre todo los costos variables.
2. Respecto a los riesgos de índole ambiental el proyecto se clasificó bajo los términos de la primera categoría, (conceptualizado expresamente para mejorar y conservar la calidad del ambiente), siendo este uno de los atributos que el proyecto proveerá a la economía de los hogares de Mexicali. Siendo su valorización de impacto ambiental favorable.

En base a la evidencia derivada del análisis de rentabilidad y principalmente por los resultados del VAN y la TIR, se puede concluir que llevar a cabo la realización del proyecto es rentable y por lo tanto, se recomienda su ejecución. Además se está

aprovechando y revalorizando materia prima que puede, en su caso, ser un factor bien remunerado por el impacto ambiental y la solución de problemáticas adyacentes. Su factibilidad de utilización está comprobada técnicamente siguiendo algunas propiedades de calidad en manejo de rendimientos.

Aunado a lo anterior, se recomienda que el proyecto en su fase de puesta en marcha se acompañe de un programa de capacitación en los aspectos administrativos y financieros, con el propósito de fortalecer la disciplina financiera y el liderazgo en los procesos de innovación necesarios.

Conclusiones

La presente investigación ha llevado a cabo un estudio integral, examinando los principales indicadores distintivos de innovación tecnológica en la rama de biocombustibles. El propósito de ello ha sido descubrir cuáles son las pautas que definen el comportamiento y la situación actual en el Sector Transporte Público, en cuanto al consumo de combustible, abastecimiento de materia prima, y por otro lado utilizar herramientas metodológicas que permitan sustentar los diferentes aspectos o escenarios de factibilidad técnica y económica.

Las respuestas a los planteamientos expuestos han sido analizadas a lo largo del trabajo. No obstante en este último apartado y a modo de conclusión enseguida se resumen los resultados más relevantes obtenidos:

1. La seguridad energética es para México un objetivo central, debido a que nuestro consumo de energéticos depende, principalmente, del petróleo y del gas natural. Por ello, y con el objetivo de reducir los riesgos inherentes al alto consumo de combustibles fósiles, es conveniente que la matriz energética incluya una mayor participación de fuentes renovables.

2. En base al análisis y desarrollo estadístico de los datos arrojan un indicador de éxito para el Sector transporte público en la ciudad de Mexicali en la utilización de la mezcla Biodiesel (B20) a partir del aceite vegetal residual, en materia de abastecimiento, impactos positivos tanto en la no dependencia de combustibles fósiles, revalorización, disposición de residuos y menor impacto de los gases de efecto invernadero que mejora la calidad del aire de la ciudad de Mexicali.

3. La utilización de herramientas de simulación permitieron obtener un esquema para observar el comportamiento futuro de la generación de los aceites vegetales residuales considerando la dinámica del sector restaurantero y poblacional de la ciudad, para con ello conocer su disponibilidad como materia primal potencial en la producción de biodiesel. Los resultados reflejan la factibilidad para satisfacer la demanda energética del sector transporte público en un 20%, a partir de dichos residuos.

4. Desde el punto de vista técnico, los procesos de obtención de Biodiesel están basados en tecnologías probadas que garantizan un combustible líquido que cumple con los requerimientos de calidad planteados en las normas vigentes correspondientes.

5. Por otra parte de acuerdo al modelo financiero y el sistema de costeo es factible económicamente y se recomienda la ejecución del proyecto de acuerdo a los indicadores de rentabilidad expuestos.

Antes de concluir la investigación cabe mencionar algunas posibles líneas de investigación sobre cuestiones vinculadas a un proceso integral.

Es necesario profundizar en los factores que influyen en el desarrollo o ejecución de proyectos de investigación creando una plataforma que busque enlaces de triple hélice donde el Sector Gobierno, Sector Productivo y Sector Educativo formen una sinergia para coadyuvar en la promoción, difusión e implementación de proyectos relacionados con el uso y desarrollo de tecnologías energéticas sustentables.

Referencias

Alves (2006). Biodiesel como producto del reciclado de aceites vegetales usados.

ASTM (2008). "American Standard for testing and materials." ASTM D6751-08.

Canacki, M. and V. Gerpen (2001). " Biodiesel Production from oils and fats with high free fatty acids." American Society of Agricultural Engineers **1429**.

Cerutti, O. M., et al. (2006). Potenciales y Viabilidades del Uso de Bioetanol y Biodiesel para el Transporte en México, SENER.

CESPT. (2009). "CESPT Pionero en la utilización de biocombustibles ecológicos." Retrieved 14/11/2009, 2009.

CONAPO (2009). Proyecciones de población para el municipio de Mexicali. Mexicali.

CRONICA (2009). Crean combustible alternativo. Periódico La Crónica.

Chiras, D. (2009). Environmental Sciences, Jones&Bartlett.

Demirbas, A. (2009). "Political, economic and environmental impacts of biofuels: A review." Applied Energy **86**: 108-117.

EPA. (2009). "Combined Heat and Power." Retrieved 14/11/09, 2009, from http://www.epa.gov/chp/basic/index.html.

Gui, M. M., et al. (2008). "Feasibility of edible oil vs non-edible oil vs waste edible oil as biodiesel feedstocks." Energy: 1646-1653.

Haumann, B. F. (1990). Renderers give new life to waste restaurant fats**:** 722–725.

INE. (1998). "Inventario de emisiones para Mexicali." from http://www.ine.gob.mx/publicaciones.

INEGI (2004). SAIC 5.

Kiepper, B., et al. (2001). Characterization of the Generation, Handling and Treatment of Spent Fat, Oil, and Grease (FOG) from Georgia's Food Service Industry Athens, Georgia, University of Georgia.

Li, C.-T., et al. (2003). "Emission of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and Their Carcinogenic Potencies from Cooking Sources to the Urban Atmosphere." Environmental Health Perspectives **111**.

Myers, G. E. (1992). Chapter 7: Soap and detergents. In Inedible Meat By-Producst. London & New York.

NREL (2009). Biodiesel Handing and Use Guide National Renewable Energy Laboratory.

Quintanilla, A. and D. Fischer (2003). La energía eléctrica en Baja California y el futuro de las renovables: una visión multidisciplinaria. Mexicali, UABC.

SAGARPA (2007).

Sarmiento, R. (2008). "Primeros desarrollos de producción de biodiesel en México."

Schröder, et al. (2006). Estudio de factibilidad GTZ-BID sobre el biodiesel como combustible para transporte en Mexico.

SENER (2007). Balance de Energía Nacional. S. d. Energía.

SENER (2008). Ley de promoción y desarrollo de los bioenergéticos.

Singh, A., et al. (2009). "A biofuel strategy for Ireland with an emphasis on production of biomethane and minimization of land-take." Renewable and Sustainable Energy Reviews: 12.

SMTP (2009). "Inventario de unidades, rutas y concesionarias." Sector Municipal de Transporte Público de Mexicali.

Sosapavón, F. (1989). El caso de la energía eléctrica.

Strayer, D., et al. (2006). Food fats and oils. Washington, DC, Institute of Shortening and Edible Oils**:** 37.

Talens, L., et al. (2006). "Exergy analysis applied to biodiesel production." Resources Conservation & Recycling 397-407.

UABC (2006). "Planificación energética de las ciudades de Mexicali y Tijuana, Baja California."

UNF. (2009). "Biomass Conversion Technologies." Retrieved 14/11/2009, 2009, from www.globalproblems-globalsolutions-files.org/.../UNF_Bioenergy_5.pdf.

Van Gerpen, J., et al. (2006). Building a succesful biodiesel business, Biodiesel Basics.

Wiltsee, G. (1998). Urban Waste Grease Resource Assesment, NREL.

ANEXO B

MODELACIÓN DINÁMICA DE RESIDUOS OLEICOS, CASO DE ESTUDIO: SECTOR RESTAURANTERO, MEXICALI, BAJA CALIFORNIA, MÉXICO.

Coronado, M.; Montero, G.; Leyva, O.; García, C; Vázquez, A.

ISBN: 978-958-741-006-8

Memoria en extenso: Simposium Iberoamericano de Ingeniería de Residuos.

MODELACIÓN DINÁMICA DE RESIDUOS OLEICOS CASO DE ESTUDIO: SECTOR RESTAURANTERO, MEXICALI, BAJA CALIFORNIA, MÉXICO.

Coronado, M.[*1,2]; Montero, G.[2]; Leyva, O.[3] García, C[1,2]; Vázquez, A.[1,4]
[1]Estudiante del Programa de Maestría y Doctorado en Ciencias e Ingeniería
[2]Instituto de Ingeniería. [3]Instituto de Investigaciones Sociales. [4] Escuela de Ingeniería y Negocios.
Universidad Autónoma de Baja California.
Blvd. Benito Juárez y Calle de la Normal S/N, Col. Insurgentes Este, CP 21280, Mexicali, BC-México

Resumen

El aceite vegetal residual generado en los establecimientos de preparación de alimentos de la ciudad de Mexicali, representa serios problemas cuando es descargado en la red de alcantarillado sanitario ocasionando bloqueos, desbordamientos, contaminación de agua, malos olores, entre otros, que se traducen en altos costos anuales de mantenimiento para Mexicali. Desde el punto de vista energético, tales residuos constituyen un insumo valioso que puede ser transformado en biodiesel. Es así que con el propósito de estimar los volúmenes anuales de los residuos citados y evaluar su potencial como materia prima para la producción de biodiesel, se desarrolló un modelo dinámico que permite simular la generación de tales residuos, tomando como variables: el crecimiento poblacional, volúmenes de aceite residual según el tipo de cocina, crecimiento del sector restaurantero, capacidad de almacenamiento y sistema de alcantarillado.

De los resultados del modelo, se encontró que la ubicación de los puntos de mayor generación de aceites residuales está estrechamente relacionada con la zona de alta incidencia de problemas de taponamiento, estos se pueden evitar a través del desarrollo de programas de manejo de residuos. Con dichos resultados se crearán mapas para establecer rutas críticas de recolección, que podrán actualizarse de acuerdo al comportamiento de las variables del modelo.

Palabras clave: Aceites vegetales residuales, modelación dinámica, biodiesel.

1. Introducción

La ciudad de Mexicali es la capital del estado de Baja California, se encuentra ubicada en la región Noroeste de la República Mexicana (ver Figura 1). Colinda al norte con Estados Unidos de América; al este con el estado de Sonora y el Golfo de California; al sur con el municipio de Ensenada; al oeste con los municipios de Ensenada y Tecate [1]. Cuenta con una población de 855,962 habitantes [2], representando así aproximadamente el 30% de la población total del estado.

Dentro de sus puntos fuertes cabe destacar la mano de obra calificada, aseguramiento en el suministro de agua y energía, así como un entorno económico favorable.

En el marco ambiental, Mexicali presenta diversos problemas de calidad del aire y suelo, esto se debe en gran parte a la alta densidad de industrias maquiladoras, un extenso y obsoleto parque vehicular en el sector transporte, agrícola y residencial, quemas agrícolas

[*] Correspondencia: coronado.marcos@gmail.com

y basura, disposición inadecuada de residuos, insuficiente pavimentación que genera grandes cantidades de polvo, traduciéndose en altas emisiones de contaminantes, destacando los gases de efecto invernadero, responsables del calentamiento global, que además repercuten de una manera sustancial y negativa la calidad del aire, afectando la salud poblacional.

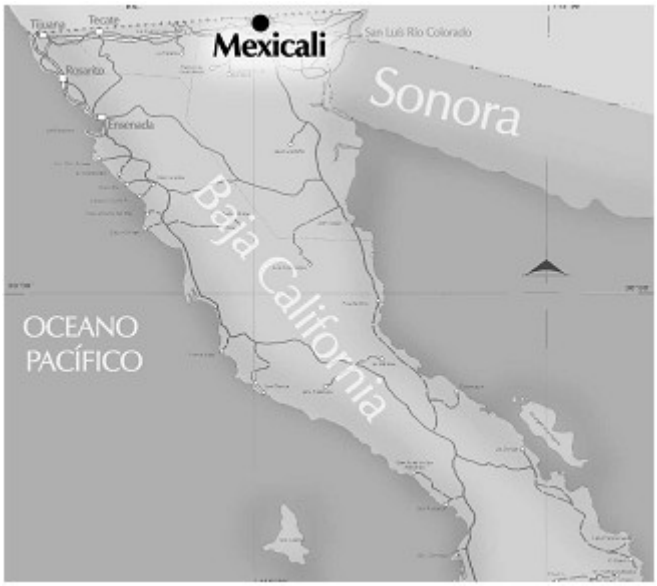


Figura 1. Ubicación geográfica del municipio de Mexicali [3].

Desde el punto de vista energético, Mexicali es dependiente de los combustibles fósiles, y es nulo el uso de biocombustibles en la región. Los biocombustibles utilizan productos vegetales o animales como materia prima, los cuales pueden ser combinados con diesel, para mitigar el impacto ambiental. Asimismo cabe mencionar, que los energéticos utilizados en la región como el diesel, gasolina y el gas LP, proceden del sur de la República Mexicana, en tanto que el gas natural es de importación, proveniente de los Estados Unidos de América. Por lo tanto es necesario desarrollar sistemas innovadores que nos conduzcan a crear juntos una ciudad sustentable fomentando una mayor cultura en el uso y aprovechamiento racional de energías, capaz de abastecer a una población que se encuentra en crecimiento (ver Figura 2). Observando la dinámica poblacional, se asume que la demanda en combustible tendrá una tendencia a la alza, lo que nos lleva a pensar y desarrollar nuevas alternativas para el aseguramiento energético.

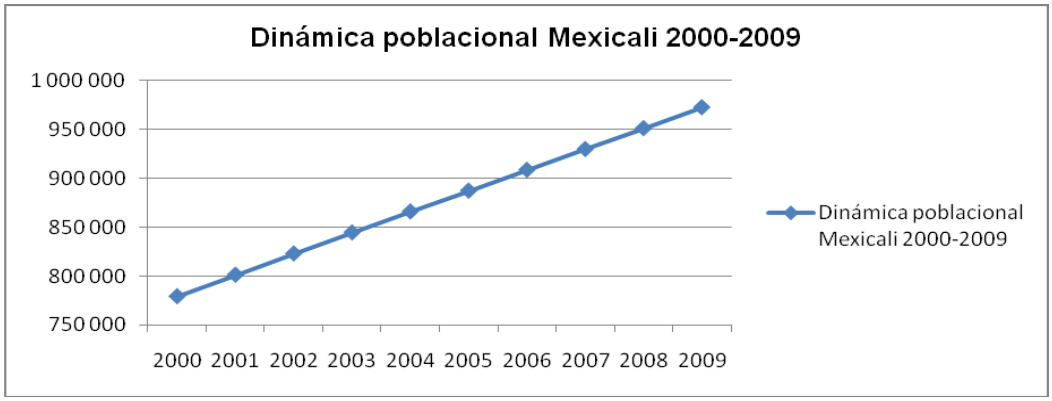


Figura 2. Dinámica crecimiento poblacional Mexicali 2000-2009 [4].

Es así como surge la necesidad de estudiar posibles materias primas que se presentan en la región, considerando su aprovechamiento para la producción de biodiesel. El biodiesel *se* define según la *ASTM* como una mezcla de ésteres monoalquílicos de ácidos grasos de cadena larga derivados de lípidos renovables tales como aceites vegetales o grasas animales [5]. El biodiesel se obtiene mediante una reacción de transesterificación, que consiste en reemplazar el glicerol por un alcohol de cadena corta, como el metanol o el etanol, de forma que se produzcan ésteres metílicos o etílicos de ácidos grasos. Considerando dos rutas, la catálisis alcalina y ácida. La catálisis ácida, por lo general, se utiliza para mejorar el rendimiento de la reacción, ya que la mayoría de las mezclas de aceite vegetal residual presentan exceso de ácidos grasos libres, que se forman por someterse a periodos prolongados de calentamiento. Es por ello que se considera un pretratamiento ácido, para después proceder a la catálisis alcalina, utilizando hidróxido de sodio.

La calidad del biodiesel depende principalmente de la materia prima y de los reactivos que se necesitan para llevar a cabo la reacción de transesterificación. Para determinar qué calidad obtenemos de biodiesel, se realizan pruebas según la especificaciónes de la Norma ASTM D6751. Entre las que destacan: punto flash, agua y sedimento, viscosidad cinemática, ceniza sulfatada, azufre total, corrosión de tiras de cobre, número de cetano, punto de nube, residuo de carbono y número ácido, glicerina libre, glicerina total, fósforo y destilación al vacío punto final.

Una de las materias primas a considerar, son los aceites vegetales residuales que presentan un potencial interesante y viable para producir biodiesel, es por ello que son objeto de estudio del presente trabajo de investigación. Asimismo se pretende estimar los volúmenes de generación de aceites vegetales residuales para el sector restaurantero de Mexicali, utilizando como herramienta un software de modelación dinámica, que posteriormente se abordará de manera detallada.

Los aceites vegetales residuales (AVR), son aquellos aceites que han visto alteradas sus propiedades físico-químicas, debido a su uso de manera discontinua o continua en procesos de preparación de alimentos.

Su generación se origina principalmente en los sectores que se enlistan a continuación:

- Sector Restaurantero, incluyendo comedores industriales.
- Sector Residencial.
- Sector Industrial de alimentos.

Existen diversos problemas asociados cuando se realiza una disposición inadecuada de los AVR, entre ellos destaca la problemática de bloqueo y desbordamiento en la red hidráulica de la ciudad, generando malos olores así como la proliferación de fauna nociva, contaminación de agua y suelo, además de impactar negativamente la salud, traduciéndose en un alto gasto público. Resulta esencial, adoptar un método sustentable para el manejo de los AVR. Una opción que se está desarrollando como propuesta de revalorización, es la de reutilizar dichos residuos como insumo para producir biodiesel, de esta manera se evitaría el impacto ambiental que ocasionan, mientras que por otra parte se lograría el mejoramiento de la calidad de aire, como producto de la combustión del biocombustible obtenido.

En la Figura 3, se muestran de una manera resumida, las variables que influyen en la nula producción de biodiesel en Mexicali. Es así que la causa inicial es el bajo nivel de inversión, que sumado a la falta de innovación, investigadores, así como programas de

fomento, se ven reflejados en una transferencia tecnológica baja. Por otra parte, se da un desaprovechamiento de los AVR, como resultado de la falta de una cultura ambiental. Por lo que, todos las características mencionadas impiden el desarrollo en producción de biodiesel, continuando en una dinámica de mayor dependencia de combustibles fósiles, los cuáles afectan negativamente en la calidad de vida.

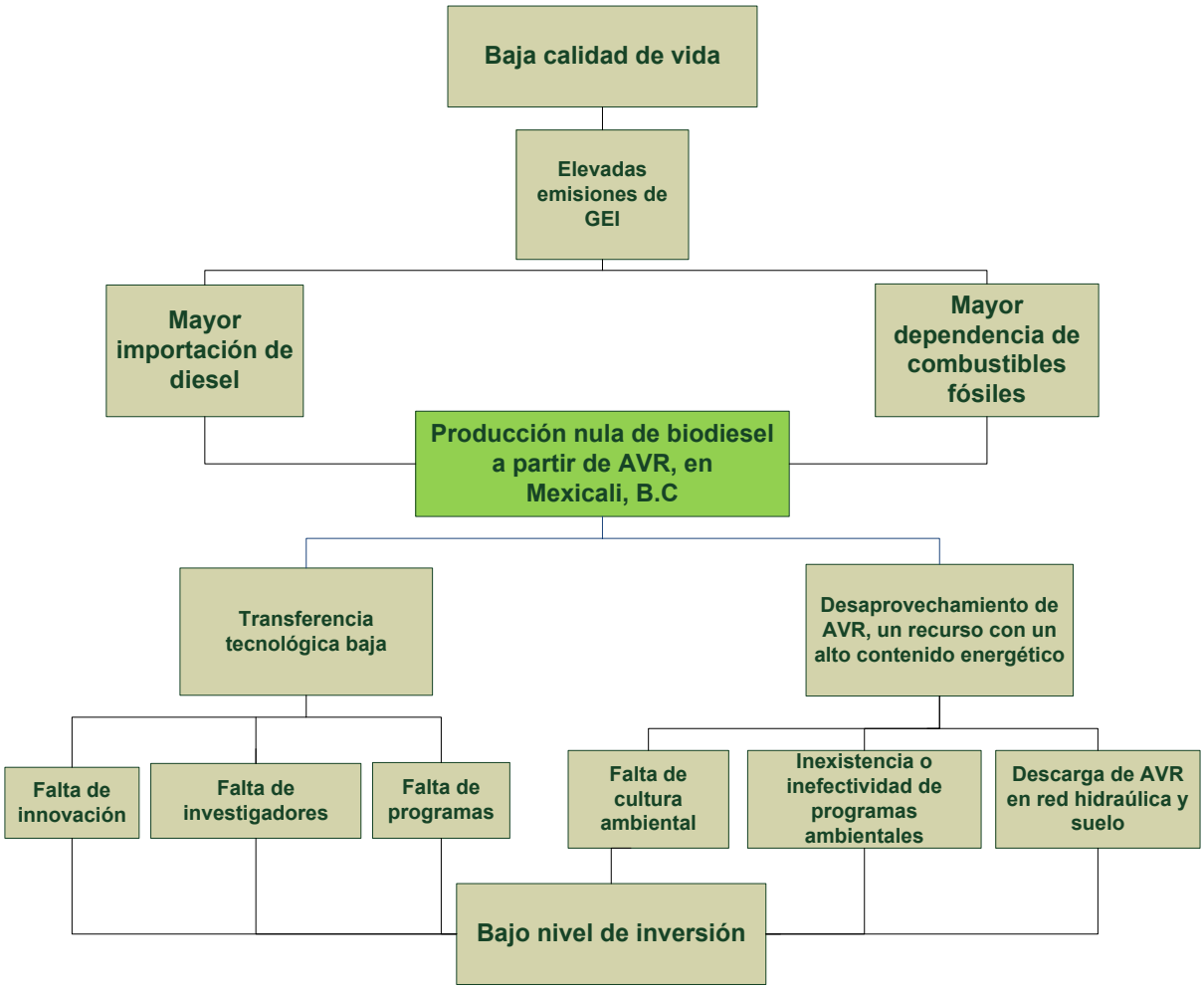


Figura 3. Causas por las que es nula la producción de biodiesel. Fuente: Elaboración propia**.**

Teniendo en cuenta tales antecedentes, pueden plantearse varias razones que justifican la reutilización de aceites vegetales residuales en la producción de biocombustibles [6,7]:

- Provienen de una fuente renovable.
- Constituyen una oportunidad para mitigar el impacto ambiental ocasionado por las emisiones de gases de efecto invernadero, responsables del calentamiento global.
- Representan un método sustentable, en el que se reaprovecha un recurso con un alto contenido energético, para producir un combustible más limpio. De esta manera se deja de desechar un recurso valioso desde el punto de vista energético, y al mismo tiempo se ve ampliamente beneficiado el medio ambiente, así como la sociedad en general.

- Evitan el uso de cultivos oleaginosos de grado alimenticio en la producción de biodiesel, por lo que no se pone en riesgo la seguridad alimentaria, ya que se trata de la reutilización de un residuo.
- Reducen la dependencia de combustibles fósiles.
- Disminuyen las importaciones de diesel.
- Son biodegradables.

1.1 Perspectiva global

En la actualidad son pocos los estudios existentes, en donde se estimen los volúmenes de aceites vegetales residuales, con el propósito de evaluar su viabilidad para reutilizarlos como insumos en la producción de biodiesel. En Estados Unidos de América, el Laboratorio Nacional de Energías Renovables (de sus siglas en inglés, NREL), elaboró un reporte denominado "Urban Waste Grease Resource Assessment" con el propósito de estimar la cantidad de aceite residual generado en los restaurantes. Los resultados desde un punto de vista poblacional, arrojaron una cantidad de aceite residual estimado en 9 lb/año/persona, mientras que por restaurante fue de 6,268 lb/año [8]. El trabajo llega a la conclusión de que la cantidad de aceite vegetal residual generado está estrechamente relacionado con: a) la población en general (número de habitantes) y b) el número de restaurantes.

Otro estudio, reporta que 2.5 billones de libras de aceites y grasas son recolectadas anualmente en restaurantes y establecimientos de comida rápida en la unión americana [9].

En la Figura 4, se puede apreciar fácilmente el crecimiento que ha vivido Estados Unidos, país vecino de México, en cuanto a la producción de biodiesel. La mayor parte de las plantas procesan múltiples materias primas, como son: aceites vegetales residuales, grasas animales, aceite de soya, entre otros insumos.

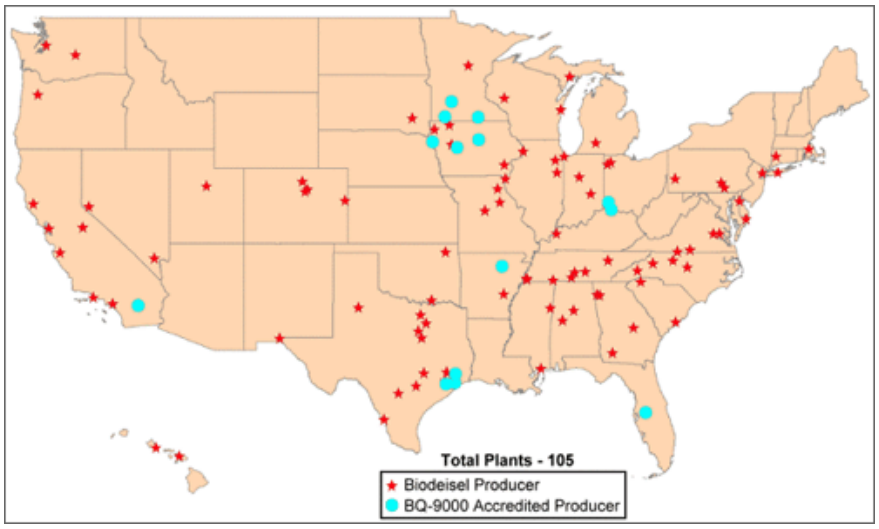


Figura 4. Plantas de biodiesel en EUA [10]

1.2 Perspectiva Nacional

La seguridad energética es para México un objetivo central, debido a que nuestro consumo de energéticos depende, principalmente, del petróleo y del gas natural. Por ello, y con el objetivo de reducir los riesgos inherentes al alto consumo de combustibles fósiles,

es conveniente que la matriz energética incluya una mayor participación de fuentes renovables.

Son pocos los estados de la República Mexicana que se encuentran desarrollando proyectos o produciendo biocombustibles (Ver Figura 5). Entre ellos se encuentran los estados de Nuevo León con una planta en el municipio Cadereyta que produce 300,000 litros mensuales de biodiesel [11], operando a un 50% de capacidad, Chiapas, Sonora y Baja California con desarrollo de proyectos de investigación, Michoacán y Oaxaca en donde la Universidad José Vasconcelos desde 2004 cuenta también con una planta piloto, para experimentar con la producción de biodiesel de aceite vegetal residual, con una capacidad de 38 ton/año (3.6 m^3/mes); que se utiliza como B20 en un autobús de la misma universidad.

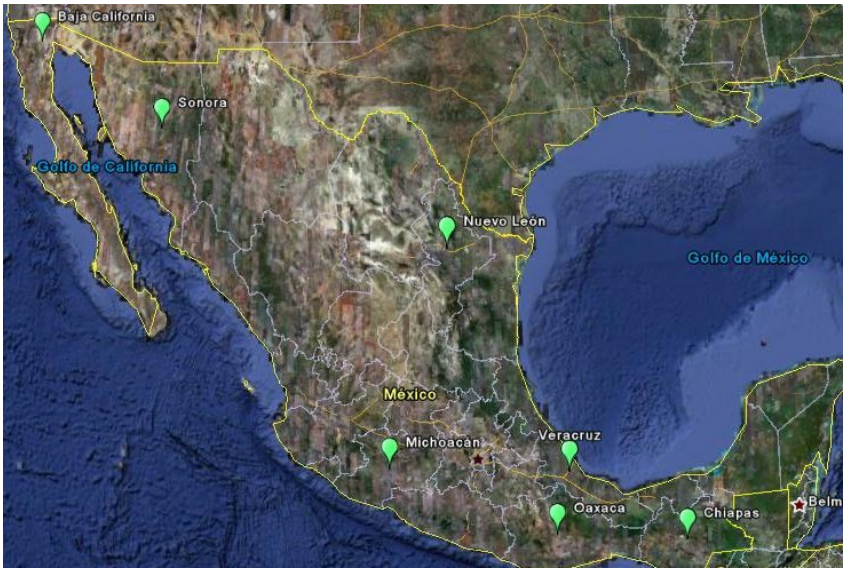


Figura 5. Estados de México con desarrollos en biodiesel [12].

En el Distrito Federal se está llevando a cabo una prueba piloto que involucra a 1200 restaurantes, 18 mercados, 236 escuelas y 25 centros deportivos, con el objetivo de aprovechar los volúmenes de generación de AVR, recolectándolos para posteriormente convertirlos en biodiesel [13]. Los resultados de dicho estudio todavía no se han publicado.

Se están realizando otros esfuerzos para la producción de biodiesel en México, pero no se tiene suficiente difusión y es difícil conocerlos todos; aunque es factible que tan sólo se tenga su desarrollo en zonas determinadas, para su autoconsumo [14].

Es interesante ver la comparación entre los desarrollos en materia de producción de biodiesel entre Estados Unidos y México (Ver Figuras 4 y 5).

1.3 Perspectiva local

En el estado de Baja California solamente se presenta un solo caso de una empresa productora de biodiesel, la Recicladora del Noroeste de Industria Cachora, ubicada en la ciudad de Tijuana. Es una empresa dedicada a recolectar el aceite vegetal residual en restaurantes, que a su vez procesa convirtiéndolo en biodiesel, el cual es utilizado en flotillas del transporte público de las denominadas Calafias. Su nivel actual de producción es de 600 litros semanales de biodiesel [15].

En la ciudad de Mexicali, es nula la producción de biodiesel a escala comercial, sin embargo hay empresas dedicadas a ofrecer el servicio de recolección de aceites residuales al sector restaurantero. Se tiene conocimiento que parte de esos volúmenes recolectados son exportados hacia Estados Unidos, teniendo como destino final, su uso como materia prima para la producción de biodiesel. La propuesta del grupo de biocombustibles del Instituto de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Baja California, es que en lugar de exportar dichos recursos, sean procesados y aprovechados localmente proporcionando el valor agregado, logrando el beneficio económico, ambiental y social para la sociedad mexicalense.

Asimismo el grupo de biocombustibles, viene trabajando de manera multidisciplinaria, estudiando los posibles insumos ya sean de origen vegetal (aceites) o animal (sebos, grasas) con el objetivo de transformarlos en biodiesel, y así poder satisfacer la demanda energética de algún sector en particular, ya sea transporte público, de carga, o maquinaria agrícola. Al mismo tiempo se está evaluando su factibilidad técnica y económica.

2. Métodos y metodología

El grupo de biocombustibles del instituto de ingeniería, elaboró el presente estudio con el motivo de tener un esquema general acerca de la generación de aceites residuales por parte del sector restaurantero de la ciudad de Mexicali, Baja California, para el año 2008, el cual resulta esencial para poder determinar el potencial del aprovechamiento de esos residuos en la producción de biodiesel. A continuación se reporta la metodología empleada, así como sus resultados.

2.1 Caracterización del sector restaurantero

En una primera etapa se procedió a identificar el número de establecimientos de preparación de alimentos existentes en la ciudad. Posteriormente se buscó información, en la Cámara Nacional de la Industria Restaurantera y Alimentos Condimentados, donde se obtuvo una base de datos con los restaurantes afiliados a la organización. Entre otras fuentes de información consultadas, se encuentra el directorio telefónico, que fue de gran ayuda, la página de turismo de Mexicali, Secretaría de Turismo, el SAT (Sistema de Administración Tributaria), así como la identificación visual de los distintos restaurantes de la ciudad mediante el recorrido en automóvil por la ciudad de Mexicali.

De acuerdo a Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), en la ciudad de Mexicali se encuentran 1094 establecimientos de preparación de alimentos en los que se incluyen restaurantes con servicio de meseros, restaurantes de autoservicio y de comida para llevar.

La oferta gastronómica en Mexicali es diversa. Mexicali, se considera hasta cierto grado multicultural ya que convergen las culturas mexicana, estadounidense y china. Debido a ello, se ofrecen diversos tipos de cocinas que presentan diferentes hábitos en cuanto a la preparación de alimentos, resaltando en algunos el alto contenido de aceites y grasas en sus platillos. Tomando en consideración tales características, se desarrolló una clasificación por tipología de comida, en la cual aparecen las más representativas, por el número de establecimientos localizados en la ciudad:

- Comida rápida
- Comida china
- Comida mexicana

- Comida internacional
- Comida Japonesa
- Comida Italiana
- Mariscos

2.2 Tamaño de muestra

El siguiente paso consistió en establecer el tamaño de muestra de restaurantes, dando como resultado aproximadamente el 10 % del dato extraído de INEGI, que reporta la existencia de 1094 restaurantes, lo cual es estadísticamente aceptable.

2.3 Instrumento de levantamiento de información

El proceso de levantamiento de información se llevó a cabo utilizando como instrumento principal las encuestas, en el que se procedió a visitar los restaurantes y entrevistar a las personas indicadas para obtener información confiable y pertinente. Cabe señalar que durante esta etapa del estudio, se presentaron dificultades de comunicación principalmente con los restaurantes de cocina china, a raíz de la barrera idiomática, o en ocasiones por su falta de interés.

3. Resultados

A partir de la muestra obtenida, procesamiento y análisis de la información, se obtuvieron los siguientes resultados (ver Tabla 1).

Tabla 1. Volúmenes de generación anual, por tipo de cocina.

Tipos de cocina	Volúmenes de generación anual (litros)	Porcentajes
Rápida	1,091,391	51.02%
Mexicana	283,538	13.26%
Internacional	288,856	13.50%
China	206,486	9.65%
Mariscos	168,319	7.87%
Japonesa	84,975	3.97%
Italiana	15,484	0.72%
TOTAL	2,139,048	100.00%

El volumen total estimado de generación a partir de la muestra observada, se calcula conservadoramente en 2.1 millones de litros anuales de aceite vegetal residual.

Como se puede observar, el tipo de cocina que presenta el mayor volumen de generación es la cocina rápida, por su alto consumo de aceite en sus procedimientos de preparación de alimentos, en los que las freidoras son utilizadas con una frecuencia mayor, siendo

más precisos, en la elaboración de papas fritas, así como los empanizados de carne para hamburguesas. No hay que olvidar que por la naturaleza del servicio de este tipo de restaurantes, es preferido por los comensales.

La cocina internacional se posiciona en el segundo lugar, en tercer lugar la cocina mexicana, posteriormente la cocina china, la cual ha formado parte del paladar mexicalense a través de los años. Por último se encuentra situada la cocina italiana con el menor volumen de generación de aceites, esto se debe a que gran parte del aceite utilizado es retenido en los alimentos preparados.

Los resultados reportan que el 83.3% de los restaurantes encuestados (ver Figura 6), ofrecen sin costo alguno el volumen de aceite residual generado, con la condición de la empresa o particular recolecte y disponga del residuo. El 8% paga por el servicio de recolección de aceites y limpieza de trampas de grasa. El 6% corresponde a aquellos establecimientos que desechan los residuos al drenaje. Cabe señalar, que al sostener pláticas con la Comisión Estatal de Servicios Públicos de Mexicali, mencionaron que se tiene una mayor problemática e incidencia de taponamiento de tuberías, como consecuencia de la descarga de los aceites en aquellos lugares donde se presentan mayores concentraciones de restaurantes.

Por último el 3% representa a los restaurantes que obtienen ganancias por concepto de venta de sus residuos, siendo el precio por litro de 7.3 centavos de dólar americano.

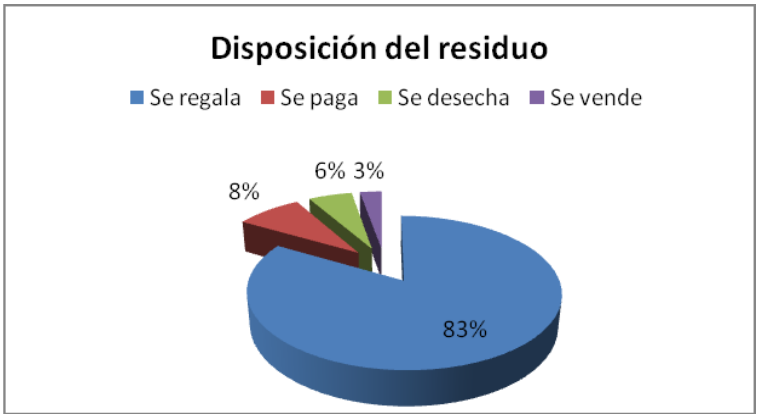


Figura 6. Disposición del residuo.

En base a la información obtenida del instrumento de levantamiento de información, se procedió a la elaboración de un modelo dinámico preliminar, que ayude a simular el comportamiento de generación de aceites vegetales residuales a través del tiempo.

Las variables utilizadas para alimentar el modelo se muestran a continuación:

Dinámica de crecimiento poblacional. Es un factor determinante en la demanda de aceites y grasas en el sector restaurantero, ya que precisamente en ella se encuentran los comensales que asisten con cierta frecuencia a los restaurantes. Los datos correspondientes a las proyecciones de la población, se tomaron de la base de datos del Consejo Nacional de Población para el periodo 2008-2017.

Tipos de cocinas

Volúmenes de aceite vegetal

Destinos de aceites vegetales residuales

El tiempo estipulado para llevar a cabo la simulación, es con una proyección a 10 años (2008-2017). Los volúmenes futuros se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2. Volúmenes futuros de generación de AVR.

Año	Volumen AVR (litros)
2008	2,339,584.16
2009	3,142,546.12
2010	3,151,567.04
2011	3,153,958.00
2012	3,154,293.91
2013	3,154,002.44
2014	3,153,509.05
2015	3,152,961.67
2016	3,152,392.46
2017	3,151,816.52

4. Conclusiones

Observando los volúmenes de generación de AVR estimados para el sector restaurantero de Mexicali y considerando que este residuo carece de valor, es desechado ocasionando diversos problemas ambientales. Por lo que surge la alternativa de revalorizarlos y convertirlo en un biocombustible, como lo es el biodiesel.

De esta manera, se disminuye el uso de combustibles fósiles, a través de una combinación 80% diesel y 20% biodiesel, mitigando así las emisiones de gases de efecto invernadero.

Por medio del modelo dinámico que se está desarrollando, será posible estimar los volúmenes de generación de aceites y grasas de la ciudad por tipología de cocina, generación de AVR per cápita. También se tomarán en cuenta los destinos finales de dichos residuos, así como obtener estimaciones de los volúmenes que son desechados anualmente en la red de alcantarillado sanitario. Esto ayudará a contar con un esquema para atacar esa problemática, y su vez, se obtendrá información valiosa, en el caso que se inicie un proyecto de inversión de una planta de producción de biodiesel, que procese AVR.

5. Referencias

[1] INEGI.MarcoGeoestadístico,1995. Inédito

[2] INEGI, Principales resultados por localidad, 2005.

[3] Anuario Estadístico Municipal de Mexicali, 2008.

[4] CONAPO, Proyecciones de población para el municipio de Mexicali.

[5] American Standard for testing and materials, 2008 (ASTM D6751-08)

[6] Canacki Mustafa, Van Gerpen J. (2001). Biodiesel Production from oils and fats with high free fatty acids, 1429, 0001-2351, American Society of Agricultural Enguneers.

[7] Van Gerpen, J., Pruszko, R., Clements, D., Shanks, B., & Knothe, G. (2006). Building a succesful biodiesel business (Second Edition ed.): Biodiesel Basics.

[8] Wiltsee, G. (1998). Urban Waste Grease Resource Assesment (No. NREL/SR-570-26141).

[9] Haumann, B.F., 1990. Renderers give new life to waste restaurant fats. Informe 1 (8), 722–725.

[10] Extraído de la página web: www.eere.energy.gov, Consulta: 29 de Junio del 2009

[11] Gerd Schröder, Oliver Probst, Daniela Thrän, Michael Weber, Franziska Müller-Langer. Estudio de factibilidad GTZ-BID sobre el biodiesel como combustible para transporte en Mexico, 2006.

[12] Elaboración propia, utilizando la imagen satelital de México en googleearth.

[13] Extraído de la página web: http://www.recoleccionaceite.com, Consulta: 29 de Junio del 2009.

[14] Sarmiento Rocío, Primeros desarrollos de producción de biodiesel en México, 2008.

[15] Extraído del periódico La Crónica, Crean combustible alternativo, Consulta: 20 de Junio del 2009.

Agradecimientos

Agradezco efusivamente el apoyo recibido hasta la fecha de parte de CONACYT. Se hace mención especial a mis directores de tesis, Dra. Gisela Montero Alpírez y Dr. Osvaldo Leyva Camacho, por su gran atención, asesoría y ayuda profesional.

ANEXO C

Otros Productos

Artículos en extenso

Modelación dinámica de residuos oleicos, Caso de estudio: sector restaurantero, Mexicali, Baja California, México, Coronado, M., Montero, G., Leyva, O., García, C., Vázquez, A., Simposium Iberoamericano de Ingeniería de Residuos, Barranquilla, Colombia, 2009 ISBN: 978-958-741-006-8.

Valoración energética de los residuos provenientes de los recursos forestales, García, C., Montero, G., Coronado, M., Campbell, H. Simposium Iberoamericano de Ingeniería de Residuos, Barranquilla, Colombia, 2009
ISBN: 978-958-741-006-8.

Estimación de la generación de aceites vegetales residuales y sus usos potenciales, Coronado, M.; Montero, G., Leyva, O., García, C, Vázquez, A., Congreso Nacional de Estudiantes de Posgrado del Instituto de Ingeniería, UABC, Mexicali, 2009,
ISBN: 978-607-7753-33-9.

Determinación del tiempo teórico y del flujo de vapor para la extracción de aceite esencial. Conrado García, Gisela Montero, Marcos Coronado, Ana Vázquez. Congreso Nacional de Estudiantes de Posgrado del Instituto de Ingeniería, UABC, Mexicali, 2009,
ISBN: 978-607-7753-33-9.

Análisis económico de la producción de biodiesel a partir de aceite vegetal residual en Mexicali, Baja California, Ana Vázquez, Gisela Montero, Jesús F. Sosa Conrado García Marcos Coronado. Congreso Nacional de Estudiantes de Posgrado del Instituto de Ingeniería, UABC, Mexicali, 2009
ISBN: 978-607-7753-33-9.

Ponencias en congresos

Estudio exploratorio para determinar los flujos de aceite residual generados en el sector restaurantero de Mexicali, Marcos Coronado, Carlos Peñuelas, Gisela Montero Alpírez. Reunión Nacional sobre Bioenergía, Biodiesel y Biodiversidad en Zonas Áridas. Hermosillo, Sonora, 2008.

Oportunidades y retos para la producción de bioenergéticos en Baja California, Coronado, M.; Montero, García, C., Vázquez, A., Semana de la Energía en Baja California, Mexicali, 2009.

Modelación dinámica de residuos oleicos, Caso de estudio: sector restaurantero, Mexicali, Baja California, México, Coronado, M., Montero, G., Leyva, O., García, C., Vázquez, A., Simposium Iberoamericano de Ingeniería de Residuos, Barranquilla, Colombia, 2009
ISBN: 978-958-741-006-8.

Valoración energética de los residuos provenientes de los recursos forestales, García, C., Montero, G., Coronado, M., Campbell, H. Simposium Iberoamericano de Ingeniería de Residuos, Barranquilla, Colombia, 2009
ISBN: 978-958-741-006-8.

Estimación de la generación de aceites vegetales residuales y sus usos potenciales, Coronado, M.; Montero, G., Leyva, O., García, C, Vázquez, A., Congreso Nacional de Estudiantes de Posgrado del Instituto de Ingeniería, UABC, Mexicali, 2009,
ISBN: 978-607-7753-33-9.

Determinación del tiempo teórico y del flujo de vapor para la extracción de aceite esencial. Conrado García, Gisela Montero, Marcos Coronado, Ana Vázquez. Congreso Nacional de Estudiantes de Posgrado del Instituto de Ingeniería, UABC, Mexicali, 2009,
ISBN: 978-607-7753-33-9.

Análisis económico de la producción de biodiesel a partir de aceite vegetal residual en Mexicali, Baja California, Ana Vázquez, Gisela Montero, Jesús F. Sosa Conrado García Marcos Coronado. Congreso Nacional de Estudiantes de Posgrado del Instituto de Ingeniería, UABC, Mexicali, 2009
ISBN: 978-607-7753-33-9.

Estancias

Estancias de investigación en el Laboratorio de Procesos Físico-Químicos Aplicados en la Sede de Investigación Universitaria de la Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia. Octubre, 2009.