

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

INSTITUTO DE INGENIERÍA

MAESTRÍA Y DOCTORADO EN CIENCIAS E INGENIERÍA



**Biodiesel en Baja California: Evaluación de
materias primas y procesos**

**TESIS QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
DOCTOR EN INGENIERÍA**

PRESENTA:

ANA MARÍA VÁZQUEZ ESPINOZA

DIRECTOR DE TESIS

DRA. GISELA MONTERO ALPÍREZ

CODIRECTOR DE TESIS

DR. JESÚS FRANCISCO SOSA GORDILLO

Índice

Listado de Figuras.....	ii
Listado de Tablas.....	ii
Agradecimientos.....	iii
Resumen.....	iv
I Introducción.....	1
1.1 Planteamiento del problema.....	1
1.2 Justificación.....	3
1.3 Objetivos.....	4
1.3.1 Objetivos Específicos.....	4
1.4 Hipótesis.....	5
1.5 Responsabilidad de cada autor respecto a las publicaciones.....	6
II Desarrollo de la Investigación.....	7
2.1 Antecedentes.....	7
2.2 Producción de biodiesel en México.....	11
2.3 Uso de biodiesel en Baja California.....	12
2.3.1 Descripción de la materia prima para producción de Biodiesel en Baja California.....	12
2.3.1.1 El aceite de la semilla de algodón.....	12
2.3.1.2 Grasas de ganado vacuno.....	15
2.3.1.3 Aceites vegetales residuales.....	17
2.4 Materiales y Métodos.....	19
III Referencias.....	27
IV Anexos.....	30
4.1 Economic Analysis of Biodiesel Production from waste vegetable oil in Mexicali, Baja California.....	30
4.2 Producción de biodiesel a partir de semilla de algodón aceites vegetales residuales y grasas animales.....	43
4.3 Análisis económico de la producción de biodiesel a partir de aceite residual en Mexicali Baja California.....	56
4.4 Capitulo Biocombustibles en el libro “Plan Integral Ambiental de la UABC”.....	62
4.5 Obtención de aceite esencial de eucalipto utilizando energías renovables y biodiesel obtenido a partir de grasas animal y aceite vegetal residual.....	88
4.6 Biodiesel: una opción para recuperar energía de aceites vegetales residuales y grasas animales.....	115
4.7 Estimación de la generación de aceites vegetales residuales y sus usos potenciales.....	124

Listado de Figuras

Figura 1. Municipios de Baja California.....	1
Figura 2. Municipio de Mexicali.....	2
Figura 3. Ganado en pie en Baja California en el año 2008 (SIAP, 2009).....	16
Figura 4. Esquema para la producción de biodiesel.....	21
Figura 5. Proceso de obtención de aceite de semilla de algodón.....	23

Listado de Tablas

Tabla 1. Principales productores de biodiésel en el mundo.....	9
Tabla 2. La información que genera el Servicio de Estadística Agroalimentaria y Pesquera (SIAP).....	14
Tabla 3. Especificación del biodiesel.....	26

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, al Instituto de Ingeniería, en especial al Dr. Benjamín Valdez Salas y a la Escuela de Ingeniería y Negocios Guadalupe Victoria al M.C. Luis Alfredo Padilla López por todas las oportunidades que me brindaron y que me permitieron realizar un curso a través de la coordinación de cooperación internacional e Intercambio académico, para apoyar el desarrollo de la investigación en la Universidad de Idaho, ubicada en Moscow Idaho, Estados Unidos.

A los sinodales: Dr. Navor Rosas, Dra. Margarita Stoytcheva, Dr. Alejandro Lambert, Dr. Moisés Galindo por revisar el presente documento y sus contribuciones.

A mi familia: Mis padres por su incondicional apoyo en todos los aspectos y mis hermanos.

También muestro mi más sincero agradecimiento hacia todos mis compañeros del grupo de biocombustibles, a Conrado García, Marcos Coronado, Carlos Peñuelas, Karla Gorozave, 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. Jesús Francisco Sosa Gordillo. 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.

Resumen

Debido a los altos costos de los combustibles y considerando los problemas de contaminación generados por el uso de combustibles fósiles, en Baja California, México, se están adaptando procesos para la producción de biodiesel consideraron: a) el algodón producido en el valle de Mexicali para obtener el aceite de la semilla, estimándose un promedio de 50 mil toneladas anuales de semilla, con un rendimiento del 14% en aceite para la producción de biodiesel; b) el aceite residual del sector restaurantero con un aporte aproximadamente de 8 millones de litros anuales de aceite y c) la grasa de origen animal proveniente de la planta de rendimiento de los rastros estimándose un volumen de 10532 toneladas al año.

Con la finalidad de evaluar aspectos técnicos y económicos de la producción de biodiesel a partir de materias primas disponibles en la región para satisfacer el sector transporte de carga.

De los cinco municipios que integran Baja California, se considero la ciudad de Mexicali para desarrollar el análisis económico, con la finalidad de abastecer el sector transporte de carga cuenta con un parque vehicular de motor a diesel estimado en 14,000 unidades de carga y transporte. El sector transporte de carga con 11,861 unidades, consume aproximadamente 169 millones de litros anuales de diesel. El diesel utilizado en Baja California procede de la región sur de México, y es uno de los causantes de las emisiones de CO₂ que afectan la calidad del aire de Mexicali, por ello es importante analizar opciones para sustituirlo con biodiesel, que genera menos CO₂ y puede ser obtenido a partir de desechos.

La utilización de biodiesel en el sector transporte de carga de Mexicali, representa una oportunidad de mejorar la calidad del aire, impulsar el desarrollo de nuevas empresas en la región y participar, en las nuevas tendencias de uso y producción de biocombustibles. 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 Baja California. Siendo su valorización de impacto ambiental favorable. Considerando que se aprovechará un 14% de aceite obtenido de la semilla de algodón que actualmente se produce en el valle de Mexicali y 82% de grasas de animales, al término de 5 años con una producción de 4.78 millones de litro de biodiesel para abastecer 169 millones de litros que demanda el sector transporte.

1. Introducción

1.1 Planteamiento del problema

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

Este estado está conformado de 5 Municipios:, Tijuana, Tecate, Ensenada, Playas de Rosarito y Mexicali que constituye la Capital del Estado [1].



Figura 1. Municipios de Baja California (Fuente: <http://www.bajacalifornia.gob.mx>)

De los cinco municipios que integran Baja California, se delimitó la investigación a Mexicali, municipio que colinda al norte con Estados Unidos de América; al este con Estados Unidos de América, el estado de Sonora y el Golfo de California; al sur con el Golfo de California y el municipio de Ensenada y al oeste con los municipios de Ensenada y Tecate y con Estados Unidos de América. [2]



Figura 2. Municipio de Mexicali. (Fuente: <http://www.bajacalifornia.gob.mx>)

Mexicali cuenta con un parque vehicular de motor a diesel estimado en 14,000 unidades de carga y transporte. El sector transporte de carga con 11,861 unidades, consume aproximadamente 169 millones de litros anuales de diesel, combustible derivado del petróleo. Debido a que Baja California no cuenta con yacimientos de petróleo, los combustibles provienen del sur de México, originando altos costos de

transportación. Se busca resolver esta problemática por medio de nuevas alternativas de energía (uso de fuentes renovables) para reducir los riesgos inherentes al alto consumo de combustibles fósiles para poder abastecer la necesidad de sector transporte de carga, tomando en cuenta que la seguridad energética del sector transporte del estado depende del petróleo. Los 169 millones de litros que se requieren para abastecer un solo sector en Mexicali causan Consumo y explotación de petróleo, con el riesgo latente de que este recurso puede llegar a disminuir tanto que no sea suficiente para abastecer la demanda, provocando la compra de hidrocarburos, es decir una situación indeseable que puede volverse catastrófica en términos económicos, por la volatilidad de los precios del petróleo así como por la dependencia hacia productores con comportamientos impredecibles.

En particular el combustible diesel, que es un derivado del petróleo, constituye la principal fuente abastecedora del sector transporte y es a su vez uno de los causantes de las emisiones de CO₂ que afectan la calidad del aire de Mexicali, es así que la producción de biodiesel representa una oportunidad para disminuir su uso, considerando que esta ciudad ocupa el primer lugar en emisiones de CO y PM₁₀ y sexto lugar en ozono per cápita a nivel nacional, rebasando los límites permisibles por la normatividad ambiental vigente. Por ello, se analizó la oportunidad de producir biodiesel a partir de aceites vegetales residuales (AVR), desechados por los establecimientos de preparación de alimentos que existen en Mexicali. En tal análisis se encontró que dichos residuos (AVR) tienen una disposición inadecuada, lo que origina 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.

1.2 Justificación

Debido al agotamiento de los recursos energéticos fósiles y al incremento de las emisiones de contaminantes que estos originan, se buscan alternativas energéticas para sustituirlos, como los biocombustibles que son mezclas de hidrocarburos que se derivan de la biomasa, los más conocidos son el bioetanol y el biodiesel. Los

biocarburantes son biocombustibles líquidos que se pueden utilizar en motores de combustión interna. (Agudelo, Pag. 1)

Uno de los biocarburantes es el bioetanol, alcohol etílico deshidratado producido a partir de la fermentación de elementos de la biomasa que sean ricos en componentes azucarados, amiláceos y, últimamente, lignocelulósicos. Entre los cultivos agrarios empleados en la producción de bioetanol se encuentran la caña de azúcar, la remolacha, el maíz, el sorgo, el trigo, la cebada, así como tallos de maíz, paja de cereal y otros residuos vegetales.

El biodiesel es una mezcla de ésteres mono alquílicos de ácidos grasos de cadena larga, obtenidos de aceites vegetales o grasas animales y se utilizan en los motores de ignición compresión (diesel), según lo define la American Standard for Testing and Materials (ASTM).

1.3 Objetivos

Evaluar aspectos técnicos y económicos de la producción de biodiesel a partir de materias primas disponibles en la región para satisfacer el sector transporte de carga.

1.3.1 Objetivos Específicos

- Estimar la cantidad de aceite vegetal residual, aceite de algodón y grasas de animales para producir biodiesel.
- Caracterizar la mezcla de aceites vegetal residual recopilada de diferentes restaurantes.
- Especificar las condiciones del proceso para la obtención del biodiesel.
- Obtener biodiesel que ofrezca ventajas ambientales.

- Aportar una fuente de obtención de energía, que participe como un soporte adicional para el abastecimiento de energía en el sector transporte de carga.
- Elaboración del análisis económico para producir biodiesel.
- Solucionar el problema de disposición de los aceites vegetales que se desechan en restaurantes en la ciudad de Mexicali.
- Estimar la cantidad de aceites usados que se desechan de los restaurantes.
- Identificar mediante la experimentación de la reacción de transesterificación, las condiciones de operación para obtener el mejor rendimiento de la reacción.
- Estimar las emisiones de CO₂, SO₂ y PM₁₀

1.4 Hipótesis

Es posible convertir las materias primas disponibles en la región para producir biodiesel, aprovechando los AVR que se desechan en la cocinas de los restaurantes, el aceite de semilla de algodón antes de utilizarlo como alimento y las grasas amarillas de ganado vacuno, sacrificado en el municipio de Mexicali, de tal modo que sea posible abastecer el sector transporte de carga en Mexicali en con una mezcla de 20% biodiesel y 80% de diesel. Además que el análisis financiero arroje datos que favorezcan al costo de producción, para mejorar el precio y poder competir con los derivados del petróleo.

1.5 Responsabilidad de cada autor respecto a las publicaciones presentadas.

1.5.1 Economic Analysis of Biodiesel production from waste vegetable oil in Mexicali, Baja California

AUTOR	RESPONSABILIDAD
Ana María Vázquez Espinoza	Planteamiento del desarrollo del trabajo
Gisela Montero Alpírez	Interpretación de datos e imágenes
Jesús Francisco Sosa Gordillo	Asesor de Análisis económicos
Marcos Coronado Ortega	Asesor en el análisis de resultados
Conrado García González	Asistentes en el análisis de la Información

1.5.2 Producción de biodiesel a partir de semilla de algodón, aceites vegetales residuales y grasas animales.

AUTOR	RESPONSABILIDAD
Ana María Vázquez Espinoza	Desarrollo de la metodología e interpretación de resultados
Gisela Montero Alpírez	Interpretación de datos e imágenes
Jesús Francisco Sosa Gordillo	Asesor de Análisis económicos

1.5.3 Análisis Económico de la Producción de Biodiesel a partir de aceites residual en Mexicali, Baja California.

AUTOR	RESPONSABILIDAD
Ana María Vázquez Espinoza	Planteamiento en el modelo de producción y análisis de resultados
Gisela Montero Alpírez	Director de tesis , asesor en el planteamiento del modelo
Jesús Francisco Sosa Gordillo	Asesor de Análisis económicos
Conrado García González	Asesor en el análisis de resultados
Marcos Coronado Ortega	Asistentes en el análisis de la Información

1.5.4 Capitulo Biocombustibles en el libro “Plan Integral Ambiental de la UABC”.

AUTOR	RESPONSABILIDAD
Gisela Montero Alpírez	Responsable del desarrollo del proyecto y análisis
Ana María Vázquez Espinoza	Planteamiento del desarrollo del trabajo
Marcos Coronado Ortega	Interpretación de datos e imágenes
Conrado García González	Asesor en el análisis de resultados

1.5.5 Obtención de Biodiesel mediante el reciclado de aceites vegetales residuales y de biomasa a partir de los desechos forestales.

AUTOR	RESPONSABILIDAD
Ana María Vázquez Espinoza	Planteamiento del desarrollo del trabajo
Gisela Montero Alpírez	Interpretación de resultados
Conrado García González	Interpretación de datos e imágenes

1.5.6 Biodiesel: una opción para recuperar energía de aceites vegetales residuales y grasas animales.

AUTOR	RESPONSABILIDAD
Gisela Montero Alpírez	Director de tesis, desarrollo y estructura del trabajo
Ana María Vázquez Espinoza	Interpretación de datos e imágenes
Jesús Francisco Sosa Gordillo	Asesor de Análisis económicos
Héctor E. Campbell Ramírez	Análisis de datos
Alejandro A. Lambert Arista	Interpretación de datos e imágenes

1.5.7 Estimación de la Generación de aceites vegetales residuales y sus usos potenciales.

AUTOR	RESPONSABILIDAD
Marcos Coronado Ortega	Planteamiento de estructura y desarrollo de trabajo
Gisela Montero Alpírez	Análisis de la Información
Osvaldo Leyva Camacho	Asesor en la discusión de resultados
Conrado García González	Interpretación de datos e imágenes
Ana María Vázquez Espinoza	Interpretación de resultado

2. Desarrollo de la investigación

2.1 Antecedentes

Rudolf Diesel fue el creador del motor de ignición y encendido por compresión, o motor diesel, quien utilizó aceite vegetal de cacahuate para impulsar una de sus creaciones en la exposición de París de 1900 prediciendo así el uso de los biocombustibles (Stratta, 2000).

En el año 1992 se inició la producción a escala industrial del biodiesel en toda Europa (Austria, Bélgica, Francia, Alemania, Italia y Suecia), llegando en la actualidad a producirse más de un millón de toneladas anuales.

Durante el siglo XX, se realizaron algunos intentos para utilizar aceites como combustible para vehículos. Antes de la segunda guerra mundial se introdujo el uso de aceites transesterificados como combustible en vehículos pesados en el África. Durante la década de los años 40, los franceses trabajaron con el aceite de piñón (*Jatropha curcas*) como combustible sin tener resultados positivos. Posteriormente se realizaron algunos ensayos en la República Federal de Alemania y Austria con aceite de colza (*Brassica napus*); y en Cabo Verde y en Malí también con aceite de piñón, obteniéndose excelentes resultados (Robalino, 2009).

Ante la escasez de combustibles fósiles, se destaca la investigación realizada por Otto y Vivacqua en el Brasil, sobre diesel de origen vegetal, pero fue hasta el año de 1970, que el biodiesel se desarrolló de forma significativa a raíz de la crisis energética que se sucedía en el momento, y al elevado costo del petróleo alcanzado como consecuencia de los factores políticos existentes.

Las primeras pruebas técnicas con biodiesel se llevaron a cabo en 1982 en Austria y Alemania, pero sólo hasta el año de 1985 en Austria, se construyó la primera planta piloto productora. Hoy en día países como Alemania, Austria, Canadá, Estados Unidos, Francia, Italia, Malasia y Suecia son pioneros en la producción, ensayo y uso de biodiesel en automóviles (Smeets, 2005).

Las plantas industriales de generación de biodiesel son construidas por varias compañías en Europa; cada una de estas plantas es capaz de producir más de 5.7 millones de litros de combustible cada año (Canakci, 2006).

En Europa, el biodiesel es producido principalmente a partir del aceite de la semilla de canola (también conocida como colza) y de metanol. El producto es utilizado en las máquinas diesel, puro o mezclado con diesel de petróleo, en proporciones que van desde un 5% hasta un 20%, generalmente. En Alemania y Austria se usa puro para obtener un máximo beneficio ambiental.

Además de la colza, en los últimos años se ha producido biodiesel a partir de soya, girasol y palma, siendo esta última la principal fuente vegetal utilizada en Malasia para la producción de biodiesel.

En el estado de Minnesota, en Estados Unidos, una legislación obliga a que todo el diesel convencional sea mezclado en un 2% con combustible orgánico siempre y cuando se alcance una capacidad de producción de al menos 8 millones de galones.

En la actualidad empresas multinacionales en España y Argentina ya han firmado o están ultimando acuerdos para la fabricación y distribución del biodiésel, tanto puro como en distintos porcentajes de mezclas con gasoil, y estos ya se encuentran disponibles en las gasolineras, y por tanto empezando a despertar la curiosidad del consumidor (casares, 2006). En la tabla 1 se resume la producción, los insumos utilizados y el uso de biodiesel en algunos países del mundo.

Tabla 1 Principales productores de biodiésel en el mundo

PAIS	AÑO	PRODUCCIÓN (Millones litros/año)	INSUMOS UTILIZADOS	TIPO DE USO*
Alemania	2005	1.920	Colza, girasol, y/o aceite de cocina reciclado.	Uso puro en todo tipo de vehículos**.
Francia	2005	511	Colza, girasol, y/o aceite de cocina reciclado.	Mezcla en el diésel: sin etiquetado para uso general (B2) y en flotas cautivas (B30). 10 a 15 millones de automóviles usan B2 en Francia.
EU	2005	290	Más del 90% proviene de soya, el resto de grasa amarilla, otros aceites o grasas animales.	B100 y mezclas B20 y B2 principalmente en flotas cautivas, pero también venta al público y uso en minas subterráneas (por motivos de salud ocupacional).
Italia	2005	227	Girasol y/o aceite de cocina reciclado.	90% del biodiésel se usa puro o mezclado con 20% de diésel fósil, para usos térmicos como calefacción.

				Inicios en uso para transporte, especialmente flotas cautivas.
China	2004	138	Colza, semilla de algodón, aceite de cocina reciclado.	Exportado a Hong Kong, uso principal en flotas cautivas.
Republica Checa	2002	63	Colza, semilla de algodón, aceite de cocina reciclado.	Mezcla de diésel con 30% a 40% de biodiesel
Australia	2004	36	Aceite de cocina reciclado, grasas animales	
Austria	2005	30	Colza y/o aceite de cocina reciclado.	Mezcla de biodiésel de colza con diésel, o biodiésel puro de aceite de fritura **.
España	2002	7	Girasol y/o aceite de cocina reciclado.	Flotas cautivas.
Dinamarca	2002	5	Colza, semilla de algodón, aceite de cocina reciclado.	
Reino Unido	2002	5	Principalmente aceite de cocina reciclado, también colza	Venta directa a flotas o en algunas estaciones de servicio. Promoción del B5.
Suecia	2002	3	Colza	Flotas cautivas.**
Suiza	2002	1	Principalmente colza	Uso en cooperativas agrícolas y como B100 en pocas estaciones de servicio.
Eslovaquia	2002	1	Colza, girasol, y/o aceite de cocina reciclado	Mezcla de diesel con 30% a 40% de biodiesel.

Fuentes: F.O. Licht's World Ethanol & Biofuels Report (2005), Friedrich (2004), Austrian Biofuels Institute (citado por Friedrich, 2004)

* Bx se refiere a la proporción (x%) de mezcla de biodiésel (B) en diésel convencional. Por ejemplo, B2 hará referencia a una mezcla de 2% de biodiésel en 98% de diésel.

** Más de 400 mil vehículos usan B100 (es decir, biodiésel puro) en Alemania, Austria y Suecia.

2.2 Producción de biodiesel en México

Recientemente, la Secretaría de Energía en México (SENER), el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) y la Agencia de Cooperación Técnica Alemana (GTZ) desarrollaron un estudio para evaluar el potencial de México para producir biocombustibles. El estudio consideró dos posibles biocombustibles, el etanol y el biodiesel. Las materias primas evaluadas para el caso del etanol fueron: sorgo, maíz, yuca, caña de azúcar y remolacha azucarera; para producir biodiesel se consideraron: palma de aceite, jatropha curcas, girasol, canola, cártamo, soya, sebo animal y aceite reciclado.

Asimismo, se consideraron aceites usados. El resultado del estudio arrojó que el maíz y la caña de azúcar resultan rentables para producir bioetanol, cuando el precio del mismo sea de por lo menos \$0.55 dólares/m³. En el caso del biodiesel, dado que al igual que el bioetanol, los costos de producción dependen significativamente de los costos de la materia prima, la producción inmediata podría basarse en el uso de materias primas de bajo costo como los aceites y las grasas residuales. Uno de los cultivos señalados como promisorios fue la jatropha curcas (SENER, 2006).

Actualmente, esta oleaginosa mexicana, la jatropha curcas, se explota de manera masiva para extraer aceite vegetal que se utiliza para producir biodiesel, en la primera planta, localizada en el Estado de Michoacán, que inició sus operaciones en septiembre de 2007, (Márquez, 2006).

En México se cuenta con una producción de biodiesel a pequeña escala, contabilizando en la actualidad un total aproximado de 3.7 millones de litros anuales, aunque se han tenido algunos problemas para su comercialización de manera formal. La primera planta inaugurada en julio de 2005 se construyó por la empresa Grupo Energéticos, en Cadereyta, Nuevo León, utilizando sebo animal como materia prima, con una producción de aproximadamente 3.2 millones de litros/año, operando al 50% de su capacidad.

Proyecto iniciativa del Tecnológico de Monterrey que construyó una primera planta piloto para investigación con aceite vegetal residual, que produce aproximadamente 95,500 litros/año; utilizándose como B-20 en un autobús y dos autos de la institución.

En el estado de Oaxaca, 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 tons/año (3.6 m³/mes), que se utiliza como B-20 en un autobús de la misma universidad

2.3 Uso de biodiesel en Baja California.

La comisión estatal de servicios públicos de Tijuana (CESPT) es la primera dependencia de Gobierno del estado en implementar el consumo de biocombustibles en sus unidades de trabajo con un programa conocido como “Programa de Implementación de Biocombustibles Ecológicos”^[3]

2.3.1 Descripción de la materia primas para producción de Biodiesel en Baja California.

Las materias primas disponibles en Baja California para producir biodiesel, consideradas en esta investigación son: aceite de semilla de algodón, grasas de ganado bovino y aceites vegetales residuales.

2.3.1.1 El aceite de la semilla de algodón

Existen seis zonas productoras agrícolas de importancia económica en el estado de Baja California, delimitadas en dos Distritos de Desarrollo Rural. El distrito de desarrollo rural No.1 está comprendido por el Valle de Guadalupe, Maneaderos, Ojos Negros, San Quintín y el Rosario, en este distrito destacan los principales cultivos como el tomate, cebolla, uva, olivo y fresa En el distrito de desarrollo rural No. 2 se encuentra el Valle de Mexicali.^[2]

La zona de influencia del Distrito no. 2, comprende una superficie de 1' 506,913 Ha, de las cuales, 1' 478,175 Ha corresponden al Municipio de Mexicali, B. C. y 28,738 Ha al

Municipio de San Luis Río Colorado, Sonora. ^[2]

La actividad agrícola es practicada por 15,177 usuarios con derechos de riego, en una superficie de 210,930.44 Ha, de las que 184,282.75 ha corresponden al Valle de Mexicali y 26,647.69 ha a San Luis Río Colorado. En esta zona destacan los principales cultivos de Algodón, trigo, alfalfa, cebolla, hortalizas e invernaderos. ^[2]

La estructura productiva del Valle de Mexicali basada en la producción de algodón durante más de medio siglo, inició a mediados de la década de los sesenta una radical transformación en su estructura productiva, presentando nuevas tendencias en el patrón de cultivos, entre las que destacan el incremento de la producción de trigo, el auge de la producción de forrajes como respuesta a la elaboración de alimentos concentrados y pastas artificiales para la engorda de ganado, y en la década de los ochenta el crecimiento de los cultivos hortícolas. Estos cambios implicaron una nueva organización de la producción agropecuaria del Valle de Mexicali.

La seguridad energética es para los cultivos se agruparon de la siguiente forma: de un padrón de 40 cultivos que se explotan en diferentes grados e intensidad en el Valle de Mexicali sólo veinte son de importancia económica para la región.

De estos veinte se seleccionaron sólo los cultivos que estaban incluidos en alguno de los siguientes grupos: 1) algodón, 2) granos básicos (trigo y maíz), 3) forrajes (alfalfa, sorgo y *rye grass*) y 4) hortalizas (ajo, cebollín, espárrago, sandía, melón, rábano y lechuga).

El origen y crecimiento del Valle de Mexicali estuvo fuertemente ligado al cultivo del algodón. El auge del mismo estuvo determinado por una serie de factores entre los que destacan la presencia del capital trasnacional en la región y la política económica seguida por el Estado mexicano en el sector agropecuario a partir de la década de los cuarenta, que creó las condiciones técnico-productivas, financieras y de servicios que estimularon la producción de algodón.

Desde principios del siglo XX se comenzó a sembrar algodón en la región, aunque sólo fue en forma experimental. Es hasta 1912 cuando se empezó a tener un registro de su

producción; en este mismo año se sembraron 12 hectáreas, con una producción de 15 pacas; tres años más tarde se cosecharon 20 851 pacas, en una superficie de 12 800 hectáreas (Moreno, 1983).

En 1917 Estados Unidos inició su participación en la Primera Guerra Mundial, con ello los precios de la fibra del algodón subieron en forma considerable beneficiando a la región. En 1918, una vez finalizada la Primera Guerra Mundial, se llegaron a producir en el Valle de Mexicali, por primera vez en su historia, 50 000 pacas.

Hasta finales de los años veinte la cantidad de pacas que se producían siguió creciendo. En 1929, se dejó sentir la primera gran crisis mundial de este siglo, con consecuencias devastadoras para los productores de algodón y en general para todo el municipio de Mexicali, que dependía directamente de esta actividad económica. La fibra de algodón dejó de tener demanda en el mercado externo precios iniciaron una rápida y dramática caída (Fuentes, 1992).

En la tabla 2 se muestra la producción en toneladas de algodón hueso a partir de 2004 al 2009, así como sus superficies sembrada y cosechada.

Tabla 2. La información que genera el Servicio de Estadística Agroalimentaria y Pesquera (SIAP)

Año	Cultivo	Sup. Sembrada	Sup. Cosechada	Producción
		(Ha)	(Ha)	(Ton)
2009	ALGODON HUESO	16,760.60	16,740.60	69,115.08
2008	ALGODON HUESO	19,719.00	19,672.00	82,528.02
2007	ALGODON HUESO	20,643.00	20,458.00	85,782.04
2006	ALGODON HUESO	23,481.00	23,194.00	80,941.07
2005	ALGODON HUESO	20,112.00	20,112.00	67,356.28
2004	ALGODON HUESO	17,697.00	17,686.00	71,076.27

Una tonelada de algodón bruto recolectado en el campo produce aproximadamente 600 kg de semilla y 350 kg de fibra, sin embargo, el valor de la fibra es alrededor de 6 a

8 veces mayor que el de la semilla. Por lo tanto, la semilla es considerada como un sub producto de la industria algodonera, a pesar de suministrar cantidades significativas de aceite comestible y torta rica en proteínas para el ganado.

La recolección de algodón se efectúa en un periodo de tiempo bastante corto y generalmente las desmotadoras están equipadas para procesar rápidamente esta producción. Las semillas se encuentran a disposición de la extractora en cantidad superior a su capacidad de tratamiento inmediato, lo que genera problemas de almacenamiento y de conversión si su humedad no es la adecuada.

El contenido de agua de la semilla de algodón a la salida del desmotado es, en general, del 7% o superior. Para una buena conservación es conveniente reducirla y mantenerla en el 5%. La eliminación de la humedad en exceso se realiza por aireaciones sucesivas y secado por ventilación de aire exterior o de aire caliente. Las temperaturas superiores a 35°C en la masa de semilla representan el riesgo de que ocurran fenómenos de fermentación.

2.3.1.2 Grasas de ganado vacuno

Baja California ostenta el 6° lugar nacional en producción de carne en canal bovino de acuerdo al Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) en su reporte de 2009. En el 2008 aproximadamente 327,086 cabezas de ganado (bovino, porcino, caprino y ovino) y 695,111 aves fueron sacrificados para producción de carne Según Toscano el cálculo se hizo en base a la información reportada por SIAP, 2009. La figura 3 muestra las cabezas de ganado en pie en el 2008 para Baja California. El estado cuenta actualmente con 21 asociaciones ganaderas, 18 corrales de engorda, 6 rastros municipales y 4 establecimientos TIF (Tipo Inspección Federal).(Toscano, 2010).

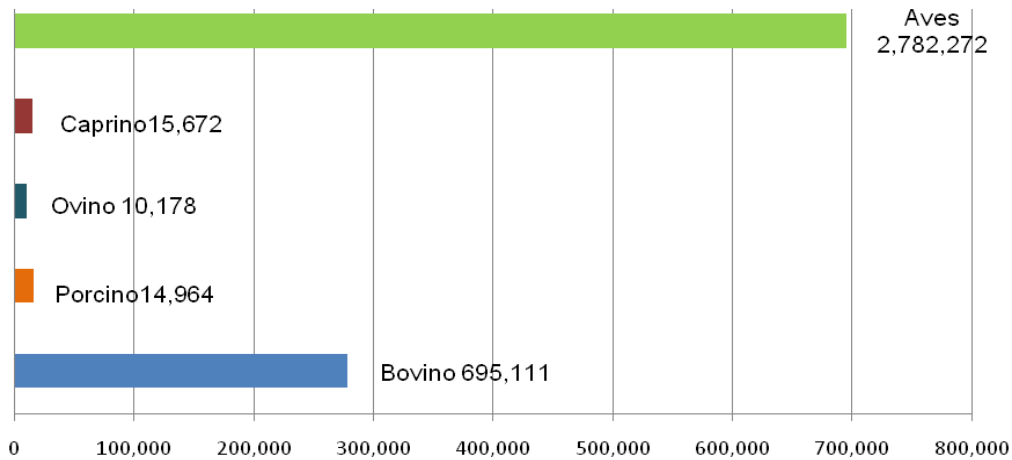


Figura 3. Ganado en pie en Baja California en el año 2008 (SIAP, 2009). Fuente: Toscano, 2010

El sebo en el proceso de matanza

Los procesos de matanza generan grandes cantidades de residuos orgánicos que tienen el potencial para la producción de biocombustibles. Aproximadamente el 49% del peso de una res, el 44% del peso de un cerdo, el 37% del peso de aves son materiales no aptos para el consumo humano.

La composición de estos residuos varía, pero una aproximación global de sus valores sería 60% agua, 20% proteínas y minerales y 20% grasa antes de ser procesadas para rendimiento. Estos materiales orgánicos son altamente perecederos y cargados de microorganismos, muchos de los cuales son patógenos tanto para humanos como para animales. El proceso de rendimiento ofrece un sistema seguro e integrado en el manejo de materia animal que cumple con todos los requerimientos fundamentales de calidad ambiental y control de enfermedades, (Toscano, 2010).

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

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

Mexicali cuenta con un gran número de restaurantes, los cuales envían al drenaje aceites usados que utilizan para cocinar sus productos, sin tener en venta el procedimiento indicado por la Norma Oficial Mexicana 026. Tomando en cuenta este problema es posible generar energía a través de estos aceites que se desechan y disminuir la contaminación produciendo un biocombustible como el biodiesel, utilizando el proceso que existe para la producción de este combustible pero adaptando el proceso a las características de la mezcla de los aceites que se recolecten en Mexicali y principalmente a las condiciones de esta ciudad para lograr el más alto rendimiento en la producción de este combustible (Coronado, 2010)

El uso de biocombustibles puede considerarse como una estrategia para producir energía y ser aprovechada como una fuente más para abastecer a la ciudad de Mexicali, y principalmente contribuir con el problema de las disposición de grandes cantidades de aceites de frituras que desechan algunos restaurantes en los cuales no regulan su disposición final originando 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 estaría evitando 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 algunos países producir energía o llevar energía hasta ellos, implica mucho costo, y contaminación ambiental, día con día se buscan nuevas alternativas de energía que satisfagan las necesidades del ser humano y a la vez ayuden a disminuir el problema de contaminación. En México para producir energía se utiliza a gran escala la enorme cantidad de energía contenida en recursos no renovables: carbón, petróleo, gas natural y uranio, principalmente. Destaca el petróleo como un recurso bastante aprovechado cuyas reservas tienden a desaparecer, ya que la mayoría de los combustibles que se utilizan son derivados del petróleo. Considerando la falta de seguridad en el abasto de energía en países importadores de energía, sobre todo a partir de las crisis petroleras, y la cada vez mayor volatilidad de los precios de los combustibles; y las preocupaciones por los impactos ambientales de los sistemas energéticos: en particular la lluvia ácida y, más recientemente, el cambio climático, surge la necesidad imperativa de buscar alternativas para el suministro energético.

El sector energía produce emisiones de diversos gases y partículas contaminantes, con efectos locales directos o indirectos en la salud de las poblaciones humanas, la conservación de la biodiversidad y la conservación de monumentos históricos. Es, en particular, el caso del dióxido de azufre (SO₂), que reacciona en la atmósfera para transformarse en ácido sulfúrico, causante de la lluvia ácida, y también de las partículas suspendidas, causantes de daños a la salud. Las energías renovables permiten desplazar el consumo de combustibles fósiles y por ende reducir estos impactos.(SENER, 2009).

2.4 Materiales y métodos

Para proceso de obtención de biodiesel se inicia caracterizando la mezcla de AVR y determinando su pH. Tomando en cuenta la variedad de impurezas con las que se reciben los aceites vegetales usados, las impurezas en las muestras consisten principalmente en agua y residuos sólidos de comida, dichos residuos ocasionan problemas de calidad del biodiesel. Para poder eliminarlas se requiere principalmente una serie de filtrados con mallas que impidan el mínimo de residuos de comida.

Con lo que respecto al agua que prevalece en las mezclas se requieren de un calentamiento que no pase de 45°C para evitar que el aceite no forme mas acido graso libres moléculas con un esqueleto de hasta 36 átomos de carbono, un grupo carboxilo en un extremo y átomo de hidrogeno en todos o casi todos los demás sitios de enlaces, (Starr, Taggart, Ed. 10).

Estos ácidos se forman por el calentamiento excesivo del aceite vegetal. Se puede realizar una valoración previa con alcohol isopropilico, fenoftaleina titulando con una disolución de hidróxido sodio para determinar la cantidad de NaOH para evitar la formación de jabón. Una vez determinado la cantidad de catalizador se prosigue a preparar el metoxido.

Debido a que la muestra de aceite está limpio de residuos sólidos, pero generalmente contiene grandes cantidades de ácidos grasos libres que reaccionan con el catalizador alcalino produciendo jabones, por lo que se requiere de un pretratamiento de la materia prima con catalizador acido como acido sulfúrico y acido clorhídrico.

Una vez disminuidos la cantidad de ácidos grasos libres se somete a la reacción de transesterificación que consiste en la reacción de alcohol con ésteres grasos para formar los ésteres del respectivo alcohol y la glicerina.

Los esteres grasos están constituidos por triglicéridos que son grasas que consiste en una molécula de glicerol enlazada a tres moléculas de ácidos grasos, (Campbell, Ed. 3).

Para llevar a cabo la reacción de transesterificación se pueden seguir dos métodos como son catálisis alcalina y acida que describen a continuación que son utilizados para formar el metoxido.

Catálisis alcalina en este método se puede utilizar el hidróxido de sodio o hidróxido de potasio con alcohol, (metanol o etanol) a si como con cualquier tipo de aceite refinado. En este proceso es mejor producir el alcoxi para obtener una mejor eficiencia global en la reacción. Los tipos de alcohol más utilizados en este proceso el metanol y el etanol. El ultimo tiene menos problemas por que es menos toxico. El aceite usado puede ser de algún vegetal, maíz, canola, cacahuete, girasol, frijól de soya oliva, palma. La temperatura usual de la reacción para es de 60°C pero ello depende del tipo de catalizador. Lo interesante del proceso alcalino es que es más eficiente y menos corrosivo que el proceso con ácido, haciendo este catalizador el más usados en las industrias, (Marchetti, 2005).

Catálisis ácida en este método la materia prima, compuesta de ácidos grasos y triglicéridos (aceite o grasa), reacciona con metanol y ácido sulfúrico como catalizador. Otro catalizador preferido es el ácido sulfónico. Esta etapa, puede requerir más de un paso de reacción, dependiendo de la acidez inicial del material. Una vez que se logra reducir la acidez a valores inferiores a 2 , la reacción es lenta y requiere de al menos mas de un día para terminar su reacción.

En la catálisis acida al igual que la alcalina un exceso de alcohol produce una mejor conversión de triglicéridos, pero la recuperación de glicerol es más difícil. Y la reacción óptima entre el alcohol y otro material debe ser determinado, experimentalmente considerando que cada proceso es un nuevo problema. El rango de temperatura de la reacción es de 55 a 80°C. La transesterificación ácida es mejor para producir biodiesel siempre y cuando tenga menos ácidos grasos libres, (Marchetti, 2005).

Dadas las características de las mezclas aceitosas recolectadas, es necesario efectuar el proceso de obtención de biodiesel en dos etapas. Estudios previos (Meher, 2006; Canacki, 2005, Felizardo, 2005; Canacki, 2003) muestran que los ácidos grasos libres presentes inhiben la reacción de transesterificación por vía alcalina debido a que forman jabones.

Por ello es necesario efectuar un pretratamiento que consiste en una reacción de las mezclas aceitosas con un alcohol, en presencia de un ácido como catalizador, lo cual permite convertir los ácidos grasos libres en los correspondientes ésteres. Se recomienda que la cantidad de ácidos grasos libres, presente en los aceites residuales, después del pretratamiento sea menor del 1%, para alcanzar mejores niveles de conversión. Otra variable que debe controlarse es la cantidad de agua presente en los aceites residuales, ya que también reduce el rendimiento de la reacción.

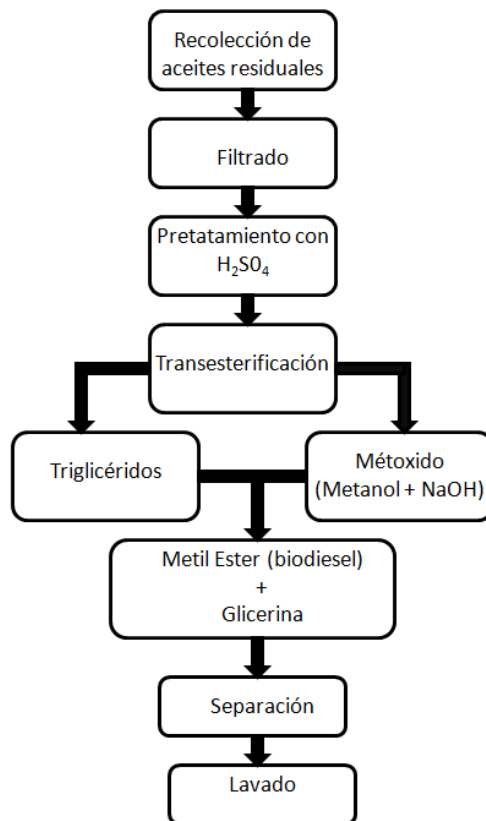


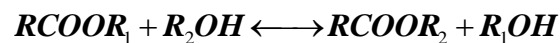
Figura 4. Esquema para la producción de biodiesel

La Figura 4 muestra de manera simplificada cada una de las etapas, de uno de los procedimientos que se ha probado a nivel laboratorio para obtener biodiesel a partir de aceites comestibles residuales, utilizando metanol e hidróxido de sodio.

Las etapas son las siguientes: 1) recolección del aceite vegetal usado de los restaurantes, 2) Filtrado del aceite, para eliminar residuos sólidos, 3) pretratamiento de los aceites residuales con H₂SO₄, 4) Preparación de metóxido de sodio, 5) Reacción de transesterificación, 6) Separación del biodiesel y la glicerina y 7) lavado

Proceso de transesterificación.

Consiste en reemplazar el glicerol por un alcohol simple, como el metanol o el etanol, de forma que se produzcan ésteres metílicos o etílicos de ácidos grasos. La reacción de transesterificación puede representarse de la siguiente manera simplificada (Zhang, 2003).



Triglicérido + metanol ↔ éster + glicerol

Donde de manera simplificada:

R = cadena de ácidos grasos

R₁ = cadena de triglicérido

R₂ = grupo metilo

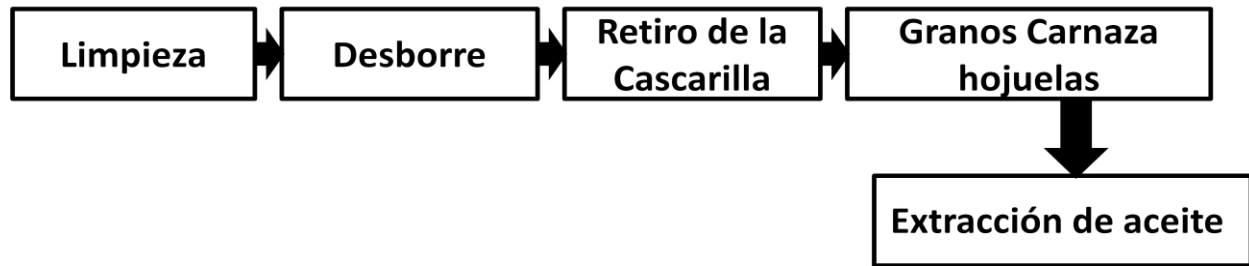


Figura 5. Proceso de obtención de aceite de semilla de algodón

Ya sea que las semillas de algodón estén sujetas para uso directo en la producción de leche en bovinos o para la extracción de aceite en plantas de triturado, éstas deben manejarse y almacenarse apropiadamente para mantener la calidad de la semilla.

La Limpieza es el paso inicial en el triturado consiste en pasar las semillas de algodón a través de una serie de tamices que las revuelven y las agitan para retirar materias extrañas tales como hojas, tallos o suciedad, posteriormente la semilla sufre el desborre que son las pequeñas fibras anexas, conocidas como borras, se cortan con máquinas similares a las despepitadoras, pero con sierras circulares y dientes más finos, y son retiradas de manera neumática a través de una serie de revoluciones. Esto crea varios grados de borras que se clasifican por longitud y composición. Por ejemplo, la mayoría de las semillas circulan dos veces a través del sistema para producir borras de primer corte y segundo corte, con proporciones que pueden variar dentro de ciertos límites (NCPA, 2000). Una vez que las semillas están desborradas, se quita la cascarilla usando una máquina equipada con una serie de cuchillos que cortan progresivamente la cascarilla, aflojando el exterior resistente que rodea la carne del algodón.

Una serie adicional de tamices agitadores ayudan a facilitar la separación de la cascarilla de la carnaza. Una vez que este paso está completo, la cascarilla puede ser comercializada ya sea a granel o en forma de pelets como único ingrediente, o bien, mezcladas con aproximadamente 35% de harina de semilla de algodón para elaborar

un producto que ofrezca distintas ventajas en términos de transportación, facilidad de manejo y contenido de proteína.

La carnaza de la semilla restante está condicionada a una temperatura y contenido de humedad apropiados para el paso final del hojuelado. Posteriormente se pasan a través de un juego de rodillos con la intención de crear hojuelas de .01 a .015 pulgadas de grosor, lo cual es óptimo para su manejo durante la remoción del aceite por presión mecánica o extracción por solventes.

Se han introducido expansores dentro del proceso con solventes, lo que ayuda dramáticamente a reducir los niveles de gossipol libre (Calhoun *et al.*, 1995a).

El aceite se extrae de las hojuelas con un solvente orgánico, usualmente hexano y se recupera para producir aceite de semilla de algodón crudo, el cual posteriormente pasa por un proceso de refinación inicial para separar por completo los ácidos grasos libres del aceite.

El aceite de semilla de algodón extraído se refina subsecuentemente para elaborar productos tales como aceite de cocina, margarina y manteca. Durante el proceso de extracción, el contenido de aceite de las hojuelas se reduce a menos del 0.6%. Las hojuelas desengrasadas se desolventizan, se tuestan y se muelen para obtener harina.

Siguiendo el proceso se regresan los productos derivados refinados nuevamente a la harina para incrementar su contenido energético. Después de salir del tostador desolventizador, las hojuelas se conocen como harina de semilla de algodón.

Esta harina se transfiere a un secador de harina donde se seca a un 10% ó 12% de humedad. Después del secado, la harina puede pasar por un enfriador, donde puede ser molida en harina o puede ser procesada en pelets.

La Semilla de Algodón Entera Prensada, Extraída Mecánicamente, se compone de semillas de algodón enteras, maduras, limpias, desbarradas y descascaradas, de las

cuales la mayor parte del aceite ha sido retirado por presión mecánica. Deben ser designadas y vendidas por su contenido de proteína cruda. Si están molidas, debe indicarse. Las palabras “extraída mecánicamente” no son requeridas al enlistarla como un ingrediente en un alimento procesado. (Propuesta 1964, Adoptada 1966, Enmendada 1968). IFN 5-01-609 Harina de semilla de algodón extraída mecánicamente.

El sebo en el proceso de matanza

Los procesos de matanza generan grandes cantidades de residuos orgánicos que tienen el potencial para la producción de biocombustibles. Aproximadamente el 49% del peso de una res, el 44% del peso de un cerdo, el 37% del peso de aves son materiales no aptos para el consumo humano.

La composición de estos residuos varía, pero una aproximación global de sus valores sería 60% agua, 20% proteínas y minerales y 20% grasa antes de ser procesadas para rendimiento. Estos materiales orgánicos son altamente perecederos y cargados de microorganismos, muchos de los cuales son patógenos tanto para humanos como para animales. El proceso de rendimiento ofrece un sistema seguro e integrado en el manejo de materia animal que cumple con todos los requerimientos fundamentales de calidad ambiental y control de enfermedades. La figura 4 muestra el proceso básico del rendimiento de las materias generadas en los rastros.

Pruebas para la determinación de biodiesel

Según la Norma ASTM D6751, deben desarrollarse pruebas específicas para determinar las propiedades del biodiesel y caracterizarlo como tal. Entre las pruebas más comunes se encuentran: glicerina libre y total, gravedad específica, viscosidad cinemática, punto flash, temperatura de destilación, número de cetano, punto de nube, corrosión de tiras de cobre y número ácido entre otras, las cuales se resumen en la Tabla 2. (Van Gerpen et al., 2004).

El punto de ignición típico del biodiesel al 100% es mayor de 200 °C, que lo clasifica como no inflamable. La prueba de agua y sedimento sirve para determinar la limpieza del biodiesel.

Su importancia radica en el hecho de que el agua presente puede reaccionar con los ésteres produciendo ácidos grasos libres, además de que propicia el crecimiento microbiano en los tanques de almacenamiento. Valores muy altos de la viscosidad cinemática provocan que los inyectores no trabajen apropiadamente, por lo que es primordial la medición de la misma.

La prueba de ceniza sulfatada mide la cantidad de residuos de ceniza mineral que queda cuando se quema un combustible e indica la cantidad de residuos metálicos procedentes del catalizador utilizado en la reacción de esterificación. La determinación de azufre puede ser un indicador de la contaminación de material proteico. La prueba de corrosión por tiras de cobre permite monitorear la presencia de ácidos en el combustible. La determinación del punto de nube, es de suma importancia porque permite determinar las condiciones de fluidización del biodiesel a bajas temperaturas.

Tabla 3. Especificación del biodiesel

PROPIEDAD	MÉTODO	LÍMITES	UNIDADES
Punto de ignición	D93	130 min	°C
Agua y sedimento	D2709	0.05 max	% volumen
Viscosidad cinemática	D445	1.9 – 6.0	mm ² /s
Ceniza sulfatada	D874	0.02 max	% en peso
Azufre total	D5453	0.05 max	% en peso
Corrosión de tiras de cobre	D130	No. 3 max	
Número de cetano	D613	47 min	
Punto de nube	D2500	Reportado	oC
Residuo de carbono	D4530	0.05 max	% en peso
Número ácido	D664	0.8 max	mgKOH/g

Glicerina libre	D6584	0.02	% en peso
Glicerina total	D6584	0.24	% en peso
Fósforo	D4951	0.001	% en peso
Destilación al vacío punto final	D1160	360oC max, 90% destilación	oC

El número ácido es un indicador de los ácidos grasos libres, que pueden causar corrosión.

Resulta importante determinar los valores de glicerina libre y glicerina total, porque si tales valores son altos provocan combustión incompleta y depósitos de carbón en los motores (Van Gerpen et al., 2006).

Una vez teniendo el producto es conveniente determinar el pH del biodiesel presenta un pH 7, neutro pero valores entre 6 y 8 lo convierten en un combustible apto para nuestro propio consumo visual, presenta un color pajizo con una matiz marrón.

3. Referencias

[1] [http:// www.bajacalifornia.gob.mx/portal/nuestro_geo/ubicación.jsp](http://www.bajacalifornia.gob.mx/portal/nuestro_geo/ubicación.jsp)

[2] [http:// www.sefoa.gob.mx/principales_productos.aspx](http://www.sefoa.gob.mx/principales_productos.aspx)

[3] [http:// www.cespt.gob.mx/noticias](http://www.cespt.gob.mx/noticias) (Noviembre, 2009)

Casares Tejada, A.C., 2006. *“La producción y el uso de Biodiésel en España. Caso particular de Andalucía.”* en Contribuciones a la Economía, noviembre 2006. Texto completo en <http://www.eumed.net/ce/>

Robalino Viteri, Carlos Samuel, 2009. Tesis de grado “Elaboración de un Manual de Operación de un Reactor Experimental de Transesterificación para la obtención de biodiesel proveniente de Aceite Vegetal” 2009.

Stratta José, 2000. BIOCOMBUSTIBLES: los aceites vegetales como constituyentes principales del biodiesel Agosto de 2000.

Smeets Edward, Junginger Martin, Faaij André, 2005. *Supportive study for the OECD on alternative developments in biofuel production across the world. Report NWS-E-2005-141.*

SENER. (Secretaría de Energía) 2006. *Prospectiva de Petrolíferos 2005-2015.*

SENER. (Secretaría de Energía) 2006. *Potencialidades y viabilidad del uso del bioetanol y biodiesel para el transporte en México.*

Canakci Mustafa, 2006. *The potential of restaurant waste lipids as biodiesel feedstocks. Bioresource Technology. 98, 183-190.*

Moreno Mena, José Ascención, 1983. “ *Las características del trabajador agrícola migrante en el Valle de Mexicali*”. Mexicali. UABC- Escuela de sociología. 1983. Tesis Profesional.

Fuentes Flores Cesar, 1992. *Análisis de la evolución del padrón de cultivos y su efecto en la reorganización de la producción agrícola en el valle de Mexicali (1965-1985).*

Toscano P. Lydia, Montero A. Gisela, Campbell R, Hector, 2010. *Evaluación preliminar de la obtención de Biodiesel a partir de los residuos de la Industria de cárnicos.*

SENER (Secretaria de energía) 2009. *Energías Renovables para el Desarrollo Sustentable en México2009.*

(http://www.sener.gob.mx/webSener/res/0/ER_para_Desarrollo_Sustentable_Mx_2009.pdf)

Starr, Taggart. *Biología la unidad y diversidad de la vida, Decima edición, Thomson. Pag. 42 y 43.*

Campbell Mitchell Reece. *Biología “Conceptos y relaciones”, Tercera Edición, Pag. 40 y 41*

Coronado O. Marcos A. 2010 “*Estudio de factibilidad de producción de energía a partir de aceite vegetal residual. Caso: Sector restaurantero*” Tesis de Maestría en Ingeniería.

J.M. Marchetti, V.U. Miguel, A F. Errazu, 2005 “*Posibles métodos de producción en biodiesel*”.

Zhang, Y, Dubé MA, McLean DD, Kates M, 2003. *Biodiesel production from waste cooking oil:1 Process design and technological assessment. Bioresorce Technology 99,1-16*

Licht's World Ethanol & Biofuels Report (2005), Friedrich (2004), Austrian Biofuels Institute (citado por Friedrich, 2004)

Van Gerpen J, B Shanks, R. Pruszko, D. Clements, G. Knothe. 2004. Biodiesel Analytical Methods. August 2002-January 2004. NREL National Renewable Energy Laboratory, NREL/SR-510-36240, Department of Energy, USA

Felizardo P., M. J. Neiva Correia, I. Raposo, J. F. Mendes, R. Berkemeier, J. Moura Bordado. 2006. Production of biodiesel from waste frying oils. Waste Management 26(5): 487-494.

4. Anexos

4.1 Economic Analysis of Biodiesel Production from Waste Vegetable Oil in Mexicali, Baja California.

Ana M. Vázquez^{1,2}
Gisela Montero^{1,*}
Jesús F. Sosa³
Marcos Coronado¹
Conrado García¹

¹ Engineering Institute

² School of Engineering and
Business Guadalupe Victoria

³ Unit of Studies in Agricultural
Economics and Agribusiness,
Autonomous University of Baja
California, Mexico

* Corresponding author. Email:
Prof. Gisela Montero, Engineering
Institute, Autonomous University
of Baja California, Blvd. Benito
Juarez y Calle de la Normal S/N,
Col. Insurgentes Este, Mexicali,
Baja California, Mexico. C.P.
21280.

E-mail: gmontero@edu.uabc.mx;
gmontero7@yahoo.com.mx

Economic Analysis of Biodiesel Production from Waste Vegetable Oil in Mexicali, Baja California

Abstract: Mexicali, capital of Baja California, Mexico, has a motor vehicle fleet of diesel estimated at 14,000 units and cargo transport. The transport cargo sector with 11,861 units, consumes about 169 million liters of diesel. The diesel used in Baja California comes from southern Mexico and is one of the causes of CO₂ emissions that affect air quality in Mexicali, it is therefore important to explore options for replacing it with biodiesel, which produces less CO₂ and can be obtained from waste material. Thus, in the analysis, was considered the use of waste vegetable oil from the Mexicali restaurant industry as a raw material for the production of 4.78 million liters of biodiesel energy equivalent to 4.45 million liters of diesel. The environmental benefit involving the replacement of such a volume of diesel with biodiesel is to reduce emissions by about 9,700 tons of CO₂, 22 tons of SO_x and 11 tons of PM₁₀. To determine the economic feasibility of producing biodiesel, were applied the methodologies of net present value and internal rate of return. The results indicate that the production of biodiesel is profitable. However, the recovery time of investment, coupled with the uncertainty presented by the biofuels market, make necessary a policy that implements local tax resources to support the promotion, production and use of biodiesel for the transport sector. Therefore, under the circumstances considered in this analysis, the production of biodiesel is feasible if it is developed a synergy among the productive sectors, education and government.

Key words: Biodiesel; Economic analysis; Waste vegetable oil; Transport cargo sector

Mexicali, capital of Baja California, is located in the northwest region of Mexico on the border with the United States of America and has a population of one million inhabitants (CONAPO, 2009). It has a motor vehicle fleet of diesel estimated at 14,000 units of cargo and transport, which is responsible for 50% of air pollution by emission of greenhouse gases, causing negative impacts on human health.

† Received 15 January 2011; accepted 18 February 2011.

Diesel fuel is the main energy supply source for transport sector, is also one of the causes of CO₂ emissions that affect air quality in Mexicali. The production of biodiesel is an opportunity to decrease the diesel use. The city ranks first in CO and PM₁₀ emissions exceeding the permissible limits for environmental regulations and sixth in per capita Ozone nationwide. It then presents a favorable position to process biodiesel considering its ecological contribution on conventional fuel. With this background, has been developed an economic analysis of the process of obtaining biodiesel from waste vegetable oil (WVO). The results presented in this document reflect the profitability of the process. These results show an analysis of biodiesel production from an economic approach geared to meet the fuel demand for transportation cargo sector (TCS).

As a case study was taken the Mexicali city TCS which comprise approximately 11,861 units, that represents 14% of Baja California transportation sector and consume about 169 million liters annually. In the case of Mexicali, it was estimated an annual production feasible of 4.78 million liters of biodiesel from WVO, from restaurant industry, energy equivalent to 4.45 million liters of diesel (Coronado, 2010). The environmental benefit involving the replacement of 4.45 million liters of diesel by biodiesel is to reduce emissions by about 9,700 tons of CO₂, 22 tons of SO_x and 11 tons of PM₁₀.

Another advantage of incorporating biodiesel into the transportation sector from the energy point of view is that biodiesel is a renewable energy source. Likewise, the use of biodiesel can extend the life of diesel engines because it is more lubricating than diesel. Biodiesel is the only alternative fuel that runs in any conventional diesel engine without requiring major modifications. The most common blend is 20% biodiesel with 80% diesel, known as B20.

To replace a fraction of diesel that is currently consumed in Mexicali with biodiesel, it was necessary to assess the cost to produce it and identify key indicators that determine the level of investment. Therefore, the objective of this study was to estimate and analyze the financial indicators that determine the level of the project profitability to produce biodiesel in Mexicali.

1. MATERIAL AND METHODS FOR BIODIESEL PRODUCTION

Alkaline Catalysis. By this process sodium hydroxide or potassium hydroxide can be used with alcohol, and with any type of vegetable oil. It is recommended to produce the alkoxide in order to improve the overall efficiency of the reaction. The types of alcohol most used in this method are methanol and ethanol. The reaction was carried out at temperatures between 55 and 60°C, but depends on the type of catalyst (Meher, 2006).

Acid Catalysis. In this method the raw material composed of fatty acids and triglycerides, reacts with methanol and sulfuric or sulfonic acid as catalyst. In acid and alkaline catalysis excess alcohol produces a better conversion of triglycerides, but the recovery of glycerol is more difficult and the optimum ratio of alcohol and other material should be determined experimentally, considering that each process is a new problem. The reaction temperature is typically above 100 °C and requires more than 3 hours to complete the conversion (Meher, 2006).

1.1 Procedure for Biodiesel Production

Given the characteristics of the mixtures of the WVO collected, it is necessary to make the process of biodiesel production in two stages. Previous studies (Meher, 2006; Canacki, 2005, Felizardo, 2005; Canacki, 2003) demonstrated that high acidity in oils inhibits the transesterification reaction via alkaline, leading to a saponification process. It is therefore a need for a pretreatment consisting in the reaction of oils with an alcohol in the presence of an acid catalyst, to convert free fatty acids in their corresponding esters. It is recommended that the amount of free fatty acids present in the WVO be less than 1% after pretreatment to achieve better conversion rates. Another variable to be controlled is the amount of water present in the WVO because reduces the yield of reaction.

Fig. 1 exhibits the simplified process that was conducted in the laboratory for the production of biodiesel from WVO, using methanol and sodium hydroxide. This process formed the basis for the development of the economic analysis.

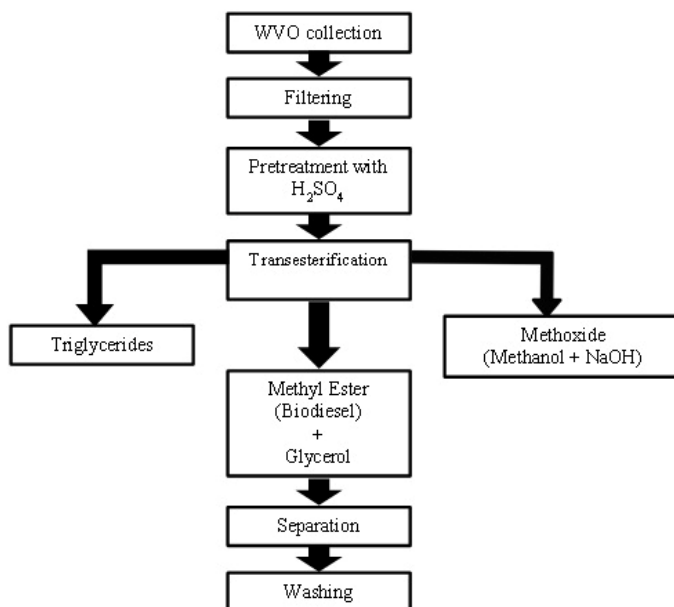
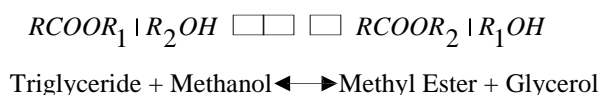


Fig. 1: Scheme of biodiesel production from WVO

The process involves the main stages of biodiesel production from WVO: 1) collection of WVO in restaurants, 2) WVO filtering to remove solid waste, 3) pretreatment of WVO with sulfuric acid, 4) preparation of sodium methoxide, 5) transesterification reaction, 6) separation of biodiesel and glycerin and 7) washing.

1.2 Transesterification Reaction

The reaction of transesterification consists replacing the glycerol by a short chain alcohol such as methanol or ethanol, so as to produce methyl or ethyl esters of fatty acids. The reaction can be represented in a simplified manner (Zhang, 2003).



where:

R = Fatty acids chain

R₁ = Triglyceride chain

R₂ = Methyl group

1.3 Yield Analysis

Tab. 1 illustrates the results of 5 representative cases of experimentation in biodiesel production from WVO collected in Mexicali.

As it is evidenced, samples with lower pH present a decrease in the yield of the reaction. It is therefore necessary pretreatment with acid to convert free fatty acids to achieve better conversion to esters. Excess of free fatty acids promotes the saponification reaction with NaOH, resulting in the formation of soap.

As it is evidenced, samples with lower pH present a decrease in the yield of the reaction. It is therefore necessary pretreatment with acid to convert free fatty acids to achieve better conversion to esters. Excess of free fatty acids promotes the saponification reaction with NaOH, resulting in the formation of soap.

Tab. 1: Biodiesel and glycerol production

SAMPLE	1	2	3	4	5
Biodiesel %	86.4	87.5	88.5	91	91.4
Glycerol %	6.4	5.5	6.5	7	8.55
Impurities %	7.2	7	6.8	2.0	0.05
pH	5.0	5.0	5.0	6.0	6.0

1.4 Diesel Supply Estimation

It is important to note that the TCS accounts for 54% of diesel consumption in Mexicali, with annual average demand of 169 million liters of diesel. In terms of the potential technological conversion was estimated in 11,861 engines. However, in the first phase is planned to cover 3% of demand for TCS with B100, represents the production of 4.78 million liters of biodiesel in a period of five years, considering a B5 blend would be possible to turn 57% of cargo vehicles to biodiesel use.

1.5 Economic Analysis

Depending on the yield obtained by the method of alkaline catalysis, it was designed an interactive model to establish the annual production level that achieves a volume of 4.78 million liters of biodiesel in the horizon of five years. On this basis, was calculated the cash flows to present value in order to explore the best cost option to produce biodiesel for the Mexicali TCS. The financial indicators used to perform the modeling are described above:

Net Present Value (NPV). It is one of the methodologies used to evaluate projects and is updated by an interest rate, all cash flows or project future cash in order to know its present value or real value and determine the value of money in time. The NPV itself means nothing, however, to know the true desirability of a project, you must compare different alternatives and the highest NPV is often used as a selection criterion. To determine the NPV using the following equation:

$$NPV = -I + \sum_{n=1}^N \frac{Q_n}{(1+r)^n} \quad (1)$$

Where:

Q_n = Cash flow

I = Initial investment

N = Number of periods

r = Interest rate

Internal Rate of Return (IRR). It is an indicator to quantify the efficiency of an investment. Unlike the NPV that delivers results in magnitude, the IRR gives a percentage that indicates the profitability of a project. The IRR is calculated from the change in the discount rate or interest, to equal the sum of adjusted flow or NPV to zero, then the interest rate obtained is defined as IRR.

$$\sum_{i=1}^N NPV_i = 0 \quad (2)$$

Benefit/Cost (B/C). It is determined from the ratio of income NPV/ expenditure NPV in accordance with cash flow.

$$\frac{B}{C} = \frac{\sum_{i=1}^N \frac{NPV_i}{(1+i)^i}}{NPV_e} \quad (3)$$

Profitability Index (PI). It is calculated dividing NPV by the Investment to determine the profitability will be obtained for each dollar invested.

$$PI = \frac{NPV}{INVESTMENT} \quad (4)$$

2. RESULTS

After conducting a series of tests on samples taken from the same food preparation establishment was determined at the laboratory that for every liter of processed WVO was obtained on average 82.3% of reusable raw materials, because the remaining material had a high content of solid waste food and water. Subsequently underwent transesterification producing 91.4% biodiesel and 8.6% glycerol.

2.1 Profitability Analysis

Based on experimentation results, it was developed a cost-benefit analysis considering a production model to meet a volume of 4.78 million liters of biodiesel in a period of five years. This volume represents a fraction of the potential demand detected in TCS estimated at 169 million liters of diesel. The production target is achieved with an average annual growth of 9%. The production scheduling is done on a monthly basis with the intention of observing the flow behavior in more detail and determines the moment of payback as an indicator to consider in evaluating the financial feasibility of the project. As a result of the production model were obtained the following results:

- The production costs of biodiesel were located for the period referred to in the range of 0.55 to 0.49 USD per liter, with an average cost of 0.51 USD which remains within the range of costs reported by SENER (Mexican Secretary of Energy) in 2006, ranging from 0.42 to 0.98 USD per liter.

Tab. 2: Cash flow of investment and cost per liter estimation (in USD)

ANNUAL PERIOD	INCOME	EXPENDITURE	CASH FLOW	CASH FLOW TO NPV	CASHFLOW ACCUMULATED	PRODUCTION (LITER)	COSTPER LITER
0	0	1,729,273	-1,729,273	-1,729,273	-1,729,273	0	0
1	1,928,368	1,729,273	199,095	417,764	-1,311,509	0	0
2	2,325,888	1,805,652	520,236	402,764	-909,245	0	0
3	2,614,149	2,107,826	506,324	524,652	-384,593	0	0
4	15,819,199	13,068,229	2,750,970	808,340	423,747	0	0
5	0	0	0	0	423,747	0	0
TOTAL	22,687,604.09	20,440,252.42	2,247,351.67	423,747.01		0	0.51

- Net Present Value. The result of the NPV is important for the valuation of fixed assets investment by showing a flow of 423,747 USD, as seen in the Tab. 2. The NPV greater than zero means that the project is deemed profitable. The best approach is to test the acceptance of cash flow under the analysis of other potential scenarios, which would be the largest NPV which defines the acceptance or rejection of the project.

Fig. 2 displays the behavior of monthly cash flow and time-adjusted return on investment.

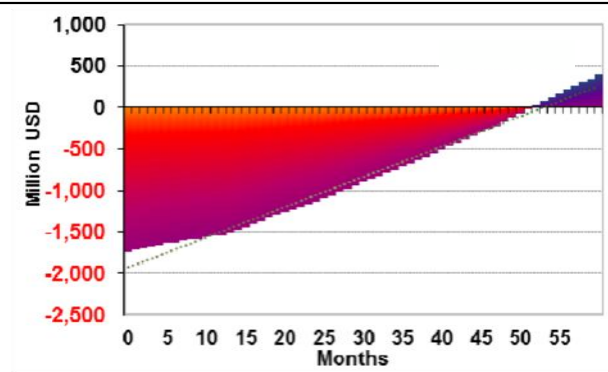


Fig. 2: Behavior of monthly adjusted cash flow

- c) Internal Rate of Return. The IRR indicates that for every unit of investment is recovered the unit and 23.5% extra. Considering that the discount rate was set at 17% per year and the risk of such a project of technological innovation, represent favorable characteristics to support financially, with a margin of 7% above the discount rate. This coupled with the estimated time of return on investment of 52 months of a 60, generates an unfavorable scenario for the project. Although the IRR is a reliable indicator for assessing a project, must be used in conjunction with the VAN to make a good decision and not reject a project that can deliver higher profits in other circumstances.
- d) Benefit / Cost Ratio. This financial ratio is regularly used by public projects; however, in order to take into account is to complement the analysis of NPV and IRR. The criterion of acceptance of the B/C is greater than or equal to unity. In this case, the result is 1.05, therefore, is slightly positive for the project.
- e) Profitability Index. The PI value reflects the ratio of investment performance. The estimate for this project indicated a lower rate to unity; this means that real income is less than the investment to be made. Taking into account the flow set and the amount of investment at present value, profitability index is 0.227, an amount that provides reliability to the project.

3. DISCUSSION

The current state of fiscal supports given to diesel leaves the commercialization of biodiesel in disadvantage. The economic analysis proved that the WVO process for biodiesel production has a moderate competitive cost, however, considering the price of diesel is the reference to enter the market and its trend continues to rise, generate a vision for biodiesel which promises to be favorable in the medium term, as long as they take advantage of tax breaks intended for the production and use of biofuels that plan to provide the Mexican federal government, thereby increasing the competitive conditions of the biodiesel.

Currently there is no biodiesel production in Mexicali on commercial scale, however, under certain terms is possible to establish a successful biodiesel plant in Mexicali, being key to this, taking the main sources of WVO, such as food industry process and restaurant industry, which on one hand, would provide a low cost feedstock and on the other, would give the opportunity to work on new methods to reduce the processing cost of WVO, therefore, the conditions of scale and quality will improve in function of lowering production cost and by the increasing of biodiesel demand in the local market.

On the environmental side, the production and use of biodiesel offers significant benefits, by replacing diesel with biodiesel can reduce CO₂ emissions into the atmosphere, greatly improving the ecological balance necessary for the sustainability of economic development in the city.

It is essential that the biodiesel production be made with local technology. The selection of technology will depend on the security of getting the volume and quality needed to maintain a production level that achieves the goals set in the annual production program.

The economic support of Mexican government is key to structuring a technological upgrading program for TCS, which necessarily require financial resources for infrastructure development in the production and distribution of biodiesel, because the market for biofuels in the town is immature, therefore, the project's viability will depend on the implementation of a local policy to support such investments.

4. CONCLUSIONS

The profitability indicators are set at the discretion of the financial analysis methodology, the final report of economical evaluation of this project is supported with the following results:

- a. The net present value (NPV) with a bank interest rate of 17%, meets the acceptance criteria to generate 423,747 USD, however, the magnitude of the indicator does not provide the certainty to accept conditions of project implementation.
- b. The internal rate of return (IRR) is calculated based on cash flow net present value, resulting in the profitability of 23.5%, therefore the project is considered financially viable, however, an acceptance criterion is to get 10 points above the discount rate.
- c. The Benefit/Cost Ratio result is 1.05, therefore, is slightly positive, meets the criteria of acceptance, but does not provide the necessary clearance to run the project within the evaluation period.
- d. The Profitability Index (PI) of the project is 0.227, which does not meet the acceptance criteria for the project.

Based on the evidence derived from cost-benefit analysis may conclude that carrying out the project to produce biodiesel from WVO in Mexicali is profitable. However, the return time of investment and the uncertainty presented by the biofuels market, make necessary a policy that implements local tax resources to support the promotion, production and use of biodiesel for the transport sector. Therefore, under the circumstances considered in the analysis, we recommend running the project as long as it will be achieve the synergy among the productive, education and government sectors.

REFERENCES

- [1] Canacki, M. (2006). The potential of restaurant waste lipids as biodiesel feedstocks. *Bioresource Technology*, 98, 183-190.
- [2] Canacki ,M., Van, Gerpen J. (2003). A pilot plant to produce biodiesel from high fatty acid feedstocks. *Transactions of the ASAE*, 46, 945-954.
- [3] CONAPO (2009). *Population projections for the municipality of Mexicali*. Mexico.
- [4] Coronado, M. (2010). Feasibility study of energy production from waste vegetable oil in restaurant industry. Master's Thesis. Autonomous University of Baja California.
- [5] Felizardo, P., Neiva, C. J., Raposo, I., Mendes, J., Bermeier, R., Bordado, J. (2005). Production of biodiesel from waste frying oils. *Waste Management*, 26, 487-494.
- [6] Meher, L.C., Sagar, Vidya, Naik, S.N. (2006). Technical aspects of biodiesel production by transesterification a review. *Renewable & sustainable energy reviews*, 10, 248-268.
- [7] Zhang, Y., Dubé, M.A., McLean, D.D., Kates, M. (2003). Biodiesel production from waste cooking oil: 1. process design and technological assessment. *Bioresource Technology*, 89, 1-16.

4.2 Producción de biodiesel a partir de semilla de algodón, aceites vegetales residuales y grasas animales.

PRODUCCIÓN DE BIODIESEL A PARTIR DE SEMILLA DE ALGODÓN, ACEITES VEGETALES RESIDUALES Y GRASAS ANIMALES

Vázquez Espinoza Ana (1), Montero Alpírez, Gisela (2); Sosa Gordillo, Jesús (3)

(1) Estudiante del Programa de Maestría y Doctorado en Ciencias e Ingeniería. Instituto de Ingeniería Mexicali. Escuela de Ingeniería y Negocios Guadalupe Victoria. Universidad Autónoma de Baja California. México

Anitavazquez340@hotmail.com, anvazquez@uabc.mx

(2) Instituto de Ingeniería Mexicali, Universidad Autónoma de Baja California. México.

gmontero@iing.mxl.uabc.mx, gmontero4@gmail.com

(3) Unidad de Estudios en Economía Agrícola y Agroempresa. Universidad Autónoma de Baja California. México.

jefsosa@uabc.mx

Resumen

Debido a los altos costos de los combustibles y considerando los problemas de contaminación generados por el uso de combustibles fósiles, en Mexicali, Baja California, México, se están adaptando procesos para la producción de biodiesel que contribuyan a abastecer, el sector transporte de Mexicali, como una alternativa de solución a la problemática de la inexistencia de una industria de combustibles en la región. Actualmente, se ha obtenido biodiesel a partir de varias materias primas como: aceites residuales, aceite de semilla de algodón, grasas animales y aceites vegetales limpios. Asimismo, se está efectuando la evaluación técnico-económica de la producción de biodiesel a partir de los diferentes insumos ya experimentados. Para esta evaluación se consideraron: a) el algodón producido en el valle de Mexicali para obtener el aceite de la semilla, estimándose un promedio de 50 mil toneladas anuales de semilla, con un rendimiento del 20% en aceite para la producción de biodiesel; b) el aceite residual del sector restaurantero con un aporte promedio anual de 4 millones de litros de aceite y c) la grasa de origen animal proveniente de la planta de rendimiento de los rastros en Mexicali estimándose un volumen de 8000 toneladas al año.

Palabras claves: Biodiesel, semilla de algodón, aceites vegetales residuales, grasas animales.

Introducción

El interés de producir biodiesel es esencialmente positivo para controlar el uso de combustibles derivados del petróleo, considerando que dicha fuente proveedora de combustible es la principal abastecedora de los sectores transporte en Mexicali, provocando, principalmente beneficios directos sobre la economía del sector transporte, ahorrando energía y dinero.

Considerando que no se produce biodiesel en Mexicali, se presenta esta situación muy favorable para desarrollar una fortaleza más para contribuir con una alternativa de generar energía produciendo un biocombustible, con el enfoque de la diferenciación del servicio, lo que permite generar una ventaja sobre la competencia, pues evita entrar en una guerra basada en precios, dejando esta presión a la competencia [1].

Estas características especiales darán al biodiesel buenos niveles de rentabilidad al establecerse con ello una ventaja bien diferenciada sobre la competencia, el objetivo será motivar en los clientes la importancia de contribuir con la protección al medio ambiente, creando un biocombustible (biodiesel) que disminuya la contaminación y que se consiga a menor precio. Es importante que los dueños de los transporte de cargas perciban el valor del servicio y para ello se definirán estrategias participativas con él, que facilite detectar sus necesidades y poder ofrecer alternativas económicas.

El sustituir una parte del combustible que actualmente existe, surge en un ámbito de una nueva conciencia respecto al cuidado del medio ambiente, en consecuencia será dirigido bajo criterios de liderazgo en promover los valores del cuidado ambiental, siempre ofreciendo una modernidad sustentable con la economía y la ecología.

En términos generales, el atributo principal de este biocombustible consiste en diferenciarse de la competencia, con el propósito de formular alternativas de solución de alto valor, que reflejen las características intangibles que son atractivas para el cubrir el sector transporte de carga, como son: la oportunidad, calidad, funcionalidad del servicio, estos valores son el fundamento para el prestigio y liderazgo en la producción de biodiesel en la ciudad de Mexicali.

Desde las últimas décadas se buscan combustibles amigables con el medio ambiente, el incremento en los precios del petróleo, y la reflexión sobre lo limitado de este recurso

son los principales motivos por los que se busca combustibles alternativos, entre los cuales destaca el biodiesel.

La producción de biodiesel a escala comercial puede ser factible en México en el mediano plazo de realizar acciones integrales que deben incluir aspectos técnicos, económicos y medioambientales, de concertación con el sector agrario y agroindustrial así como un esfuerzo importante en investigación y desarrollo tecnológico.

El biodiesel puede producirse a partir de una gran variedad de cultivos oleaginosos, de grasas animales y de aceites y grasas recicladas. Algunas de las materias primas para obtener biodiesel son la semilla de colza, soya, jatropha, girasol, y cártamo, así como el uso de sebo animal y aceite reciclado [2].

Las semillas de jatropha curcas de Morelos poseen un 25-30% de proteína y 55-60% de aceite que puede ser convertido a biodiesel mediante la reacción de transesterificación. La conveniencia de conversión del aceite de jatropha a biodiesel ha sido claramente demostrada por diversos investigadores, elevados rendimientos [3-7].

Actualmente, se utilizan semillas para extraer aceite vegetal como la semilla de algodón, que es una materia prima potencial para producir biodiesel. Según estimaciones preliminares [8], durante el ciclo agrícola 2006 la producción de semilla de algodón en el Valle de Mexicali obtenida del proceso de despepito, alcanzó las 48395 toneladas, que junto con la grasa de vacuno puede procesarse para obtener aproximadamente 4 millones de litros de biodiesel y 20000 toneladas de harinas proteicas, lo que representa una oportunidad para producir biodiesel y darle valor agregado al producto, dado que el nuevo uso, como combustible, abate los costos de producción.

Materiales y Métodos

Como parte de esta investigación, se analizó la producción de biodiesel en plantas con dedicación exclusiva a la producción de este combustible o como anexos a plantas existentes para la extracción de aceites comestibles. Se desarrolló una evaluación económica [9] orientada a cubrir la demanda de combustible del sector transporte de carga. Una de las ventajas de incorporar el biodiesel al sistema de transporte desde el

punto de vista energético, es que el biodiesel constituye una fuente de energía renovable y, además su balance energético es positivo, es decir, la energía total contenida en el combustible es mayor que la que se invierte a lo largo de su proceso de fabricación, contiene 11% de oxígeno en peso y en la mayoría de los casos, no contiene azufre. El uso de biodiesel puede extender la vida útil de motores porque posee mejores cualidades lubricantes que el combustible de diesel de petróleo, mientras el consumo, encendido, rendimiento, y torque del motor se mantienen prácticamente en sus valores normales. El biodiesel es el único combustible alternativo que funciona en cualquier motor diesel convencional, sin ser necesarias muchas modificaciones. Puede almacenarse en cualquier lugar donde el diesel de petróleo se guarda, puede usarse puro o mezclarse en cualquier proporción con el combustible diesel de petróleo. Una mezcla común es de 20% de biodiesel con 80% diesel de petróleo, denominado B20.

Como parte de la metodología se analizó la posibilidad de abastecer el sector transporte de carga, por ello se consideró que la primera fase era cubrir 7.5% de la demanda del sector transporte de carga de Mexicali, esta estimación representa la producción de 20.2 millones de litros de biodiesel, permitiendo reconvertir a 1413 tracto motores.

La información obtenida mediante las entrevistas realizadas con los propietarios de los principales empresas de transporte de carga establecidos en Mexicali, mencionan estar dispuestos a implementar el biodiesel en sus unidades, siempre y cuando los beneficios energética y económica sean mejores que el diesel, el 60% de los entrevistados están dispuestos a participar en proyectos pilotos que facilite la inversión en base a los resultados de factibilidad técnica y económica.

Es importante establecer que el sector transporte de carga es el cliente principal. Este segmento, representa el 53.6% del consumo de diesel en el municipio, siendo la demanda promedio anual de 169 millones de litros de diesel [10]. En términos de reconversión tecnológica el potencial es de 11,818 tracto motores. No obstante, la primera fase de la producción solo cubrirá el 7.5% con un crecimiento promedio anual del 15% para establecer una oferta de 20.1 millones de litros de biodiesel para un periodo de cinco años. Este sector genera un producto bruto de 608 millones de pesos,

mantiene 1907 empleos directos al año y las remuneraciones se establecen en 119 millones de pesos. No obstante, el sector transporte de carga concentra el 71.4% en servicio de carga foránea.

El valor del mercado del biodiesel para este sector es de 1183 mdp anuales, traduciéndose para el proyecto el potencial se establece en 152.3 mdp en un periodo de 5 años.

Resultados

Se efectuaron experimentaciones, para obtener biodiesel, con muestras de grasa animal, aceite de semilla de algodón, aceite vegetal refinado y aceite residual, con énfasis en el análisis de las variables que influyen en la reacción de transesterificación como son: a) la cantidad de agua que puede soportar la reacción de conversión b) la cantidad adecuada de catalizador, c) la cantidad de alcohol que debe utilizarse d) el tratamiento que debe darse a las grasas animales con gran cantidad de ácidos grasos libres.

Por otra parte, también se desarrolló una evaluación económica, en la que se estimó que la demanda potencial de biodiesel del sector transporte de carga en el municipio de Mexicali es de 169 millones de litros (Figura 1), resultado de multiplicar 11818 tracto camiones que se consideran factibles de reconvertir a biodiesel por el promedio anual de consumo de diesel 14.3 m^3 . La proporción de mercado que se atenderá en el primer año del proyecto será 7.5% estimándose una producción de 12.7 millones de litros de biodiesel, con una tasa de crecimiento promedio anual del 15% para establecer 20.5 millones de litros.

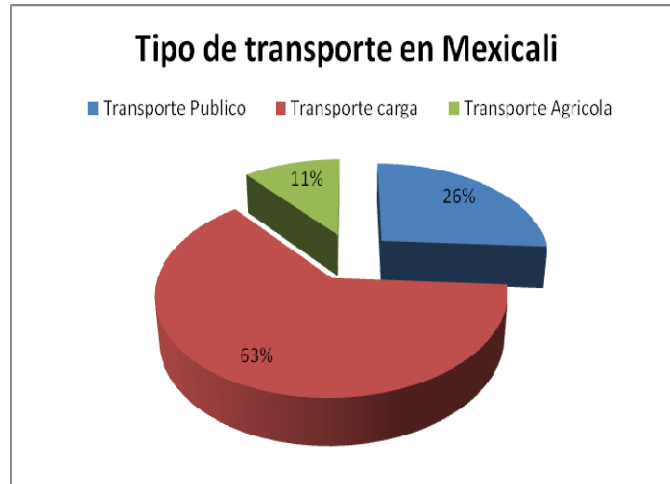


Figura1: Tipo de transporte de carga

En términos monetarios el valor promedio anual del mercado es de 123.5 millones de pesos para el periodo de cinco años (2008-2013).

Para este caso se tomarán como proveedores a los productores de algodón del valle de Mexicali para obtener el aceite de la semilla de algodón, estimándose un promedio de 50 mil toneladas anuales de semilla con un rendimiento del 20% en aceite para la producción de biodiesel. Adicionalmente se complementará con dos fuentes más de materia prima: 1) aceite residual del sector restaurantero con un aporte promedio anual de 4 millones de litros de aceite y 2) grasa de origen animal proveniente de la planta de rendimiento de los rastros en Mexicali estimándose un volumen mínimo 6000 toneladas al año, como se puede apreciar en la Figura 2.

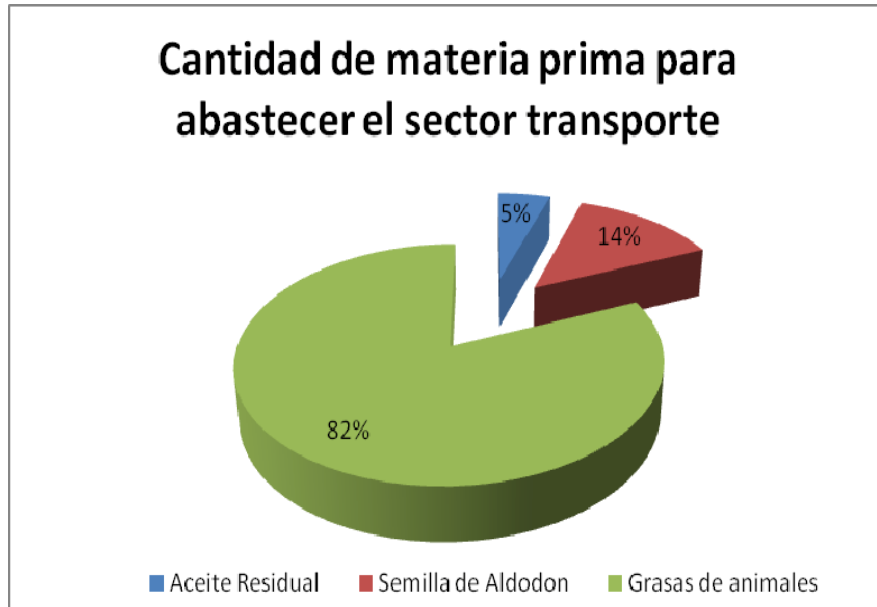


Figura 2: Cantidad de materia prima para abastecer el sector transporte

En términos monetarios el potencial del proyecto para el primer año se espera que sea de 94 millones de pesos (mdp) y para los cinco años el valor del proyecto será de 636 mdp. Adicionalmente se contempla un ingreso de 70 millones de pesos por la venta de glicerina para el periodo de 5 años. Como se puede apreciar en la Tabla 1, se proyecta la oferta por componente en términos monetarios para el periodo de cinco años.

Tabla 1. Proyección de la oferta por componente en términos monetarios.

VENTAS POR AÑO	BIODIESEL	GLICERINA	TOTAL
1	93,545,461	11,407,500	104,952,961
2	104,109,082	12,695,692	116,804,774
3	119,100,790	13,898,442	132,999,232
4	142,170,613	15,952,471	158,123,084
5	176,575,901	19,087,639	195,663,540
TOTAL	635,501,847	73,041,743	708,543,591

Como se puede observar, el negocio se complementa con la obtención de un subproducto de gran importancia industrial, el cual define un mayor porcentaje de valor

agregado al proyecto.

La escala de producción se establece en función de la demanda estimada del sector transporte de carga, considerándose una capacidad de planta de 20 millones de litros al año. No obstante, el tamaño del mercado potencial ofrece grandes oportunidades de crecimiento, ya que el consumo promedio total de diesel del municipio es de 280 millones de litros, distribuidos entre los principales demandantes, maquinaria agrícola, transporte de carga y público.

Para la evaluación económica se utilizaron algunos indicadores de rentabilidad mostrados en la Tabla 2 para el proyecto como son:

Tabla2. Indicadores de rentabilidad

Indicador	Valor
Punto de equilibrio (PE)	87.95%
Índice de rentabilidad (IR)	1.59
Flujo en valor actual neto (VAN)	59,464
La tasa interna de rendimiento (TIR)	64.70%

Discusión

De acuerdo con los resultados experimentales obtenidos, en algunos de los casos de los aceites residuales, la calidad de los mismos, requiere de procedimientos previos de tratamiento, lo que se traduce en costos de producción que deben ser considerados en la evaluación económica.

El proyecto es innovador y atractivo para el sector transporte y constituye una excelente oportunidad para iniciar la reconversión tecnológica, aprovechando los apoyos fiscales para la producción y uso del biodiesel, contemplados en la Ley de Desarrollo Rural Sustentable y Biocombustibles.

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.

Conclusiones

La evaluación económica muestra la pertinencia de producir biodiesel a partir de los insumos existentes en la región. La producción de 20 millones de litros de biodiesel, es suficiente para satisfacer aproximadamente, el 10% del mercado analizado con una mezcla tipo B20, es decir 20% de biodiesel, 80% diesel convencional. La utilización de biodiesel en el sector transporte de carga de Mexicali, representa una oportunidad de mejorar la calidad del aire, impulsar el desarrollo de nuevas empresas en la región y participar, como estado en las nuevas tendencias de uso y producción de biocombustibles. 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. Considerando que se aprovechará un 14% de aceite obtenido de la semilla de algodón que actualmente se produce en el valle de Mexicali y 82% de grasas de animales, al término de 5 años con una producción de 20 millones de litro de biodiesel para abastecer 169 millones de litros que demanda el sector transporte.

Agradecimientos

Al instituto de Ingeniería, a la Escuela de Ingeniería y Negocios, Guadalupe Victoria de la Universidad Autónoma de Baja California.

Referencias

- [1] SENER. (Secretaría de Energía) 2006. Prospectiva de Petrolíferos 2005-2015.
- [2] SENER. (Secretaría de Energía) 2006. Potencialidades y viabilidad del uso del bioetanol y biodiesel para el transporte en México.
- [3] Canacki Mustafa, Van Gerpen J. (2003). A pilot plant to produce biodiesel from high fatty acid feedstocks. Transactions of the ASAE, 46, 945-954.
- [4] Márquez Jaime, (2007). Biodiesel opción energética, El Universal, 29, septiembre.
- [5] Foidl N., Foidl G., Sanchez M., Mittelbach M. y Hacker S. 1996. *Jatropha curcas* as a source for the production of biofuel in Nicaragua. *Bioresource Technology*, 58, 77-82.
- [6] Van Gerpen J, Shanks B, Pruszko R, Clements D, Knothe G, 2004. Biodiesel Analytical Methods. August 2002-January 2004, NREL (National Renewable Energy

Laboratory), NREL/SR-510-36240, Department of Energy, USA.

[7] Zhang, Y, Dubé MA, McLean DD, Kates M. (2003). Biodiesel production from waste cooking oil: 1. Process design and technological assessment. *Bioresource Technology*. 89, 1-16.

[8] Sosa Jesús, 2007. Análisis de factibilidad técnica y económica para la producción de biodiesel en el Valle de Mexicali, a partir de aceite de la semilla de algodón y otros subproductos (En proceso).

[9] John D. Finnerty. 1998. *Financiamiento de proyectos: técnicas modernas de ingeniería económica*. Editorial Perrazo, Pretice Hall. México

[10] INEGI (2000). *XII Censo General de Población y Vivienda*. México.

4.3 Análisis Económico de la Producción de Biodiesel a Partir de Aceite Residual en Mexicali, Baja California.

Análisis Económico de la Producción de Biodiesel a Partir de Aceite Residual en Mexicali, Baja California

Ana Vázquez E.^{1,2}, Gisela Montero A.¹, Jesús F. Sosa G.¹, Conrado García¹, Marcos Coronado¹

¹ Instituto de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Baja California, Mexicali, B.C., México

² Esc. de Ingeniería y Negocios, Guadalupe Victoria de la Universidad Autónoma de Baja California, Mexicali, B.C., México anyvazquez@uabc.mx;
gmontero@iing.mxl.uabc.mx; jefsosa@uabc.mx;
cnrdgarciag@hotmail.com; coronado.marcos@gmail.com

RESUMEN

En la búsqueda de nuevas alternativas para generar energías renovables, podemos mencionar a los biocombustibles, en particular el biodiesel, que es un biocombustible, ya utilizado en nuestro país y en el mundo. Baja California no cuenta con mantos petrolíferos. Debido a ello, los combustibles que se consumen provienen de las refinerías de México o de importaciones de Estados Unidos. Por esta razón se busca evaluar la rentabilidad de la producción del biodiesel como una alternativa, para abastecer en una primera etapa parcialmente el sector transporte, en particular el sector de carga en Mexicali, considerando una producción de biodiesel, a través del aceite vegetal residual, que está considerado como un producto de desecho de los restaurantes establecidos en el estado. En este trabajo se presentan los resultados.

Palabras clave: Biocombustible, Biodiesel, Análisis económico, Aceite residual.

1. INTRODUCCIÓN

El Sector transporte de carga en Mexicali, es un nicho de oportunidad para el uso de biocombustibles, considerando la enorme desventaja ambiental que frente a ellos tienen los combustibles derivados del petróleo, los cuales causan problemas ambientales además que presentan altos costos.

La alternativa de producir biodiesel en Mexicali será esencialmente favorable para disminuir el uso de combustibles derivados del petróleo (diesel), considerando que dicha fuente proveedora de combustible es la principal abastecedora de los sectores transporte y a su vez, causa de las fuertes emisiones de CO₂ que afectan seriamente la calidad del aire de Mexicali.

Actualmente no se produce biodiesel en Mexicali, lo que constituye una situación muy favorable para desarrollar una fortaleza más, para contribuir con una alternativa de transformar un residuo en energía., En la actualidad el aceite residual generado por la industria restaurantera tiene como destino, en el mejor de los casos, servir como materia prima de la industria jabonera y de alimento para el ganado. Por otra parte, desafortunadamente existen generadores de aceite residual que, sin mediar escrúpulos los descargan a la red municipal, originando taponamientos en las tuberías.

Anteriormente el aceite no presentaba ningún valor económico por parte de los generadores, ya

que al donarlo ahorra el costo de la disposición de este residuo. En la actualidad esta situación ha cambiado, debido que surgió una competencia para obtener este residuo, que para mucho es materia prima, lo que lo lleva a tener un valor económico que debe tomarse en cuenta en el desarrollo de este proyecto, teniendo en cuenta que si su costo es demasiado elevado haría este proyecto no viable económicamente, por lo que no podría competir con el precio de los combustibles tradicionales, considerando además que el biodiesel tiene un poder calorífico aproximadamente un 12% inferior al poder calorífico del diesel de petróleo.

El uso del biodiesel al 100%, en los motores, sin modificar, no se recomienda, dado que puede ocasionar efectos adversos en algunas partes del motor sobre todo en los empaques de hule natural, por lo que de acuerdo a Van Gerpen, la combinación recomendada es de 20% biodiesel y 80% diesel para evitar inconvenientes en el correcto funcionamiento del equipo. Tomando en cuenta esta importante recomendación, el presente análisis económico se desarrolló considerando que el biodiesel generado será utilizado en la mezcla anteriormente recomendada.

Con respecto al proceso de producción del biodiesel los métodos más conocidos para su obtención son catálisis ácida y catálisis alcalina, consideradas en una reacción de transesterificación de acuerdo a las características de las mezclas de aceites que se desechan así como a las condiciones de Mexicali.

En el presente trabajo se considera la producción del biodiesel a través de la catálisis alcalina, esta elección se justifica en función del costo de reactivo y de la eficiencia en el proceso. Asimismo, se considera la importancia de contribuir a la protección al medio ambiente, produciendo un biocombustible (biodiesel) que disminuya la contaminación al utilizar residuos. Otra de las ventajas de producir biodiesel, es la obtención de un subproducto con valor como la glicerina, que puede ser utilizado para la elaboración de una gran variedad de productos.

2. PROCESOS Y MÉTODOS

2.1 Procedimiento para la obtención de biodiesel.

Dadas las características de las mezclas aceitosas recolectadas, es necesario efectuar el proceso de obtención de biodiesel en dos etapas. Estudios previos [1,2,3,4] muestran que los ácidos grasos libres presentes inhiben la reacción de transesterificación por vía alcalina debido a que forman jabones. Por ello es necesario efectuar un pretratamiento que consiste en una reacción de las mezclas aceitosas con un alcohol, en presencia de un ácido como catalizador, lo cual permite convertir los ácidos grasos libres en los correspondientes ésteres. Se recomienda que la cantidad de ácidos grasos libres, presente en los aceites residuales, después del pretratamiento sea menor del 1%, para alcanzar mejores niveles de conversión. Otra variable que debe controlarse es la cantidad de agua presente en los aceites residuales, ya que también reduce el rendimiento de la reacción.

La Figura 1 muestra de manera simplificada cada una de las etapas, de uno de los procedimientos que se ha probado a nivel laboratorio para obtener biodiesel a partir de aceites comestibles residuales, utilizando metanol e hidróxido de sodio.

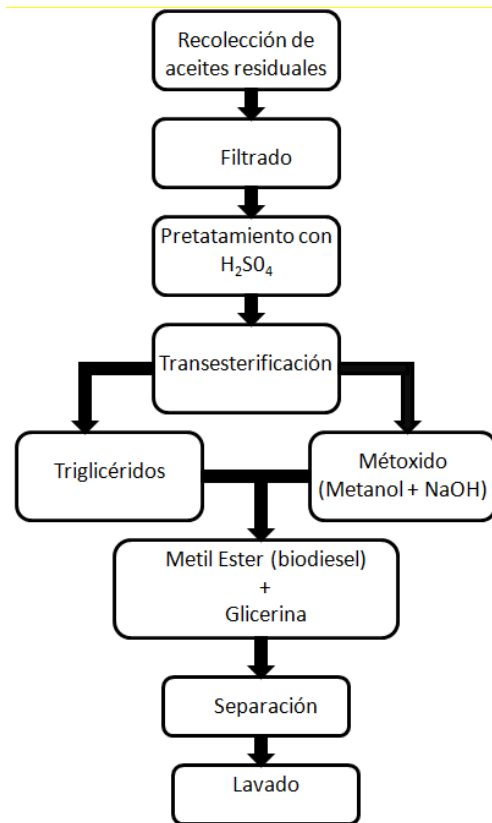


Figura 1. Esquema para la producción de biodiesel

2.2 Catálisis Alcalina.

En este método se puede utilizar el hidróxido de sodio o hidróxido de potasio con alcohol, (metanol o etanol) así como con cualquier tipo de aceite refinado. En este proceso es mejor producir el alcóxido para obtener mejor eficiencia global en la reacción. Los tipos de alcohol más utilizados en este proceso son el metanol y el etanol. La temperatura usual de la reacción para es de 60°C pero ello depende del tipo de catalizador. El proceso con catálisis alcalina es más eficiente y menos corrosivo que el proceso con ácido. [1]

2.3 Catálisis Ácida.

En este método la materia prima, compuesta de ácidos grasos y triglicéridos (aceite o grasa), reacciona con metanol y ácido sulfúrico o sulfónico como catalizador. En la catálisis ácida al igual que la alcalina un exceso de alcohol produce una mejor conversión de triglicéridos, pero la recuperación de glicerol es más difícil y la reacción óptima entre el alcohol y otro material se debe determinar de forma experimental, considerando que cada proceso es un nuevo problema. La temperatura típica de la reacción es superior a los 100°C y requiere más de 3 horas para que se complete la conversión. [1]

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Análisis Económico

En el municipio de Mexicali se presenta una demanda promedio anual de 169 millones de litros de diesel para cubrir el 53.6% del consumo de diesel. Para iniciar se cubrirá 7.32% de la demanda, que representa la producción de 20 millones de litros de biodiesel en un periodo de cinco años, permitiendo satisfacer la demanda, en término de reconversión tecnológica 1,413 tracto motores.

Para el análisis económico se diseñó un modelo interactivo para establecer la producción anual que permita alcanzar un volumen de 20 millones de litros de biodiesel en el horizonte de cinco años. Partiendo de esta base se procedió a calcular el flujo de efectivo con el propósito de explorar la mejor opción de rentabilidad para producir biodiesel destinado al sector transporte de

Mexicali.

Se utilizaron metodologías para evaluar proyectos como el Valor actual neto (VAN) que consiste en actualizar mediante una tasa de interés todos los flujos de caja futuros del proyecto, con el fin de conocerlos en valor presente o valor real que toma el dinero en el tiempo; la tasa interna de retorno (TIR), que se utiliza como indicador al cuantificar la eficiencia de una inversión determinada. Al contrario del VAN que entrega como resultado una magnitud, la TIR entrega un porcentaje que indica la rentabilidad que proporciona un proyecto, matemáticamente la TIR se calcula partiendo de la tasa de descuento o de interés que iguala la suma del VAN a 0, por tanto, la tasa de interés pasa a llamarse TIR, también la Relación Beneficio/Costo (B/C). En donde los ingresos y los egresos deben ser calculados utilizando el VAN, de acuerdo al flujo de caja. Y por último, el Índice de Rentabilidad. Este criterio determina la rentabilidad que obtendríamos por cada unidad monetaria invertida.

En resumen las necesidades financieras para este proyecto son la inversión y capital de trabajo que requiere de un volumen de financiación integral que se establece en los siguientes grandes grupos mostrado en la tabla 1.

Tabla 1. Necesidad financiera

CONCEPTOS	TOTAL
Inversión total	\$ 24,186,740.78
Inversión fija	\$ 14,074,368.90
I.-Servicios auxiliares	\$114,000
II.- Imprevistos	\$211,116
III.- Inversión diferida	\$172,200
IV.- Capital de trabajo	\$9,729,056

3.2 Indicadores de rentabilidad para el proyecto

Punto de equilibrio: momento en que la inversión no arroja ni pérdidas ni ganancias, puede ser expresado por la tasa de interés que el flujo de efectivo neto reporta al ubicarse en cero ganancias y cero pérdidas.

El índice de rentabilidad: Mide el rendimiento que genera cada peso invertido en el proyecto descontado al valor presente. $IR = 1 + VPN / I_0$

Valor presente neto: es la actualización a valor actual de los resultados económicos de la empresa (Flujo neto del proyecto), descontando el valor de las inversiones, intereses o inflación, nos sirve de base para determinar la tasa interna de rendimiento.

La tasa interna de rendimiento (TIR): representa la tasa de interés más alta que la inversión de un proyecto podría pagar sin perder dinero, si todos los fondos para el financiamiento de inversión se tomaran prestados y el capital e interés acumulado se pagara con las entradas en efectivo de la inversión, a medida que éstas se fuesen produciendo.

La tabla 2 se presentan varios indicadores como el índice de rentabilidad que muestra la relación de inversión con su rendimiento, la estimación realizada arroja un índice superior a la unidad, que se interpreta como el ingreso adicional. El punto de equilibrio que representa momento en que la inversión no arroja ni pérdidas ni ganancias.

Tabla 2. Indicadores de rentabilidad

Punto de equilibrio (PE)	87.95%
Índice de rentabilidad (IR)	1.53
Flujo en valor actual neto (VAN)	13,589,338
La tasa interna de rendimiento (TIR)	45.1%

La tabla 3 muestra, la producción en litros y los costos de producción del biodiesel. Para este caso se ubicaron dentro del intervalo de 4.39 a 6.77 pesos por litro, siendo el costo promedio de 6.18 pesos. Contrastando el resultado, éste se mantiene dentro del rango de costos que reportó SENER en 2006, el cual oscila entre 5.30 a 12.40 pesos por litro.

Tabla 3. Flujo de efectivo de la inversión y estimación del costo por litro.

AÑO	EGRESOS	INGRESOS	FLUJO	VAN DEL FLUJO	PRODUCCION LITROS	COSTO POR LITRO
0	68,580,063	-	(68,580,063)	(68,580,063)		
1	54,251,606	93,859,705	39,608,099	36,312,159	12,371,109	4.39
2	87,064,529	104,458,813	17,394,283	13,477,535	13,175,231	6.61
3	94,105,822	119,299,642	25,193,820	16,447,632	14,492,754	6.49
4	110,797,809	142,202,666	31,404,857	17,313,584	16,666,667	6.65
5	135,483,965	176,382,327	40,898,362	19,040,316	20,000,000	6.77
TOTAL	550,283,794	636,203,152	85,919,358	34,011,164	76,705,759	6.18

Fuente: elaboración propia. El programa de egresos se presenta de forma anual.

4. CONCLUSIONES

En base a la evidencia derivada del análisis de rentabilidad y principalmente por los resultados del VAN y TIR, se puede concluir que llevar a cabo este proyecto, para producir biodiesel en el municipio de Mexicali es rentable. El costo final del biodiesel puede mejorarse, si se consideran los bonos de carbono que ofrecen incentivos económicos para que empresas privadas contribuyan a la mejor de la calidad ambiental y se consiga regular la emisión generada por sus procesos productivos. En este mismo sentido, es posible considerar el derecho a emitir CO₂ como un bien canjeable y con un precio establecido en el mercado. Por otra parte, la Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos, promueve y desarrolla el uso de los bioenergéticos como elementos clave para contribuir a lograr la autosuficiencia energética del país, a través del uso de energías renovables e impulsa la producción agrícola y el empleo productivo a partir de la bioenergía.

REFERENCIAS

1. Meher LC, Sagar Vidya, Naik SN, (2006). Technical aspects of biodiesel production by transesterification a review. Renewable & sustainable energy reviews. 10, 248-268.
2. Canacki Mustafa, (2006). The potential of restaurant waste lipids as biodiesel feedstocks. Bioresource Technology. 98, 183-190.
3. Felizardo Pedro, Neiva Correia Joana, Raposo Idalina, Mendes Joao, Bermeier Rui, Bordado Joao (2005). Production of biodiesel from waste frying oils. Waste Management. 26, 487-494.
4. Canacki Mustafa, Van Gerpen J. (2003). A pilot plant to produce biodiesel from high fatty acid feedstocks. Transactions of the ASAE, 46, 945-954.

4.4 Capitulo Biocombustibles en el libro “Plan Integral Ambiental de la UABC”.

BIOCOMBUSTIBLES

AUTORES

GI SELA MONTERO ALPÍREZ¹

ANA MARÍA VÁZQUEZ ESPINOZA^{1,2,3}

MARCOS ALBERTO CORONADO ORTEGA^{1,2}

CONRADO GARCÍA GONZÁLEZ^{1,2}

¹INSTITUTO DE INGENIERÍA, UABC

²PROGRAMA DE MAESTRIA Y DOCTORADO EN CIENCIAS E INGENIERÍA, II, UABC

³ESCUELA DE INGENIERÍA Y NEGOCIOS, GUADALUPE VICTORIA, UABC

JUNIO DE 2009

BIOCOMBUSTIBLES

Introducción

La producción de combustibles alternativos de los fósiles a partir de sustancias renovables adquirió en los últimos años un relevante impulso a escala mundial. Las motivaciones han sido, entre otras, el constante agotamiento de los fósiles en un lapso relativamente corto considerado a escala histórica, el uso constante del petróleo y los altos costo que origina conseguirlo. Uno de los sectores que depende directamente de los productos derivados del petróleo es el sector transporte, cuya demanda de gasolinas se sigue incrementando año con año, mostrando una deficiencia que es subsanada mediante la importación y que mantendrá ese comportamiento debido a la falta de inversiones en infraestructura en el sector petrolero del país (SENER, 2006a).

Tanto los combustibles fósiles como los biocombustibles, tienen origen biológico. Toda sustancia susceptible de ser oxidada puede liberar energía. Si esta sustancia procede de plantas, al ser quemada devuelve a la atmósfera dióxido de carbono que la planta tomó del aire anteriormente. Las plantas, mediante la fotosíntesis, fijan energía solar y dióxido de carbono en moléculas orgánicas. El petróleo es energía proveniente de fotosíntesis realizada hace millones de años concentrada. Al provenir de plantas de hace millones de años, su cantidad es limitada. En el caso de los biocombustibles, la sustancia a ser quemada proviene de fotosíntesis reciente, por eso se afirma que la utilización de biocombustibles no tiene impacto neto en la cantidad de dióxido de carbono que hay en la atmósfera. (Anzil, 2007).

En general, el desarrollo de los biocombustibles en México, se ha orientado hacia los biocombustibles líquidos, por lo que en este documento, se discute esencialmente el potencial existente en Baja California para la producción de biodiesel.

Aunque el desarrollo de industrias relacionadas con la producción de biocombustibles es todavía incipiente en México, ya se comenzó a legislar al respecto, de tal suerte que la Ley

de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos (SENER, 2008), plantea las siguientes definiciones:

- a) Bioenergéticos: son combustibles obtenidos de la biomasa proveniente de materia orgánica de las actividades: agrícola, pecuaria, silvícola, acuacultura, algacultura, residuos de la pesca, domésticas, comerciales, industriales, de microorganismos, y de enzimas, así como sus derivados, producidos, por procesos tecnológicos sustentables que cumplan con las especificaciones y normas de calidad establecidas por la autoridad competente. Como ejemplos de ellos se encuentran el biogás, el biodiesel y el etanol anhidro.
- b) Etanol anhidro: Tipo de alcohol etílico que se caracteriza por tener muy bajo contenido de agua.
- c) Biogás: Gas que se produce por la conversión biológica de la biomasa como resultado de su descomposición.
- d) Biodiesel: Combustible que se obtiene por la transesterificación de aceites de origen animal o vegetal.

A la par del desarrollo de la legislación, en México se efectuó un proyecto para determinar la viabilidad de los biocombustibles líquidos en México, denominado: "Potenciales y Viabilidad del Uso de Bioetanol y Biodiesel para el Transporte en México", donde se reporta que el resultado del análisis económico indica que la producción de etanol es factible siempre y cuando se utilice como materia prima la caña de azúcar o maíz, y el precio del etanol se encuentre entre 0.55 y 0.65 dólares. Los insumos considerados en este estudio fueron: caña de azúcar, maíz, yuca, sorgo y remolacha azucarera, en el caso de la caña de azúcar, se analizó la producción de etanol a partir del bagazo (SENER, 2006b).

En este mismo proyecto, se analizó la producción de biodiesel a partir de la semilla de colza, soya, jatropha, girasol, y cártamo, así como el uso de sebo animal y aceite reciclado. Los resultados indican que los costos de los insumos agrícolas representan entre el 59% y 91%

de los costos de producción del biodiesel y debido a ello, los sebos animales y el aceite reciclado constituyen una oportunidad para la producción de biocombustibles.

Acorde con la tendencia nacional, en Baja California, se inició la búsqueda de nuevas alternativas de combustibles que cumplan con las características que los ya existentes. Un ejemplo puede ser, la utilización de la materia orgánica de desecho, a la cual no se le da la disposición final correcta, y que es potencialmente útil para generar energía que puede servir para mover un motor o generar electricidad. El uso de materia residual, como los aceites para transformarlos en biocombustibles, no representa una tecnología nueva, dado que el uso por primera vez de aceites vegetales como combustibles, se remonta a finales del siglo XIX, cuando Rudolph Diesel, utilizó aceite de cacahuete como combustible en su motor de ignición – compresión, y predijo el uso de los biocombustibles.

Materias primas potenciales para producir biodiesel en Baja California

Mexicali es una de las ciudades que presenta el clima más caluroso de todo México, por lo que se requieren mayores cantidades de energía, que otras ciudades del México, para satisfacer las necesidades básicas de sus habitantes. Los altos consumos tienen asociados elevadas facturaciones y constituyen uno de los problemas que aquejan a esta ciudad. Por tal motivo se requiere llevar a cabo, constantes investigaciones para encontrar alternativas económicas para la generación de energía, que además tengan un menor impacto ambiental. Puede ser el caso de utilizar biocombustibles como el biodiesel a partir de aceite comestible residual, de aceite de semilla de algodón y de grasas bovinas.

Según estimaciones preliminares (Sosa, 2007), durante el ciclo agrícola 2006 la producción de semilla de algodón en el Valle de Mexicali obtenida del proceso de despepite, alcanzó aproximadamente las 48000 toneladas, que junto con las grasas bovinas de vacuno puede procesarse para obtener aproximadamente 8 millones de litros de biodiesel y 20000

toneladas de harinas proteicas, lo que representa una oportunidad para producir biodiesel y darle valor agregado al producto, dado que el nuevo uso, como combustible, abate los costos de producción.

Estimación de aceites vegetales residuales en Mexicali

Mexicali, capital del estado de Baja California, se encuentra ubicada en la región noroeste de México en la frontera con Estados Unidos de América. 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.

Observando la dinámica demográfica poblacional (con tendencia exponencial) y sus hábitos de alimenticios, 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 y grasas residuales en los restaurantes de la ciudad.

Hoy en día, las grasas y aceites vegetales residuales 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, además se da lugar a la proliferación de fauna nociva, así como la generación de malos olores que impactan negativamente en la salud poblacional. En este sentido, es posible cambiar el paradigma existente respecto a los aceites vegetales y grasas residuales, dejando de asociarlos como desechos problemáticos y comenzar a visualizarlos como posible materia prima en la producción de biodiesel u otros procesos, evitando así el desaprovechamiento de estos residuos que contienen un alto valor energético. Con la finalidad de determinar la factibilidad de instalar una planta de producción

de biodiesel, a partir de aceites vegetales residuales, se desarrolló la primera etapa de un estudio exploratorio que permitió estimar los volúmenes de generación de aceites residuales del sector restaurantero de Mexicali (Montero, 2008).

De acuerdo a INEGI (2005), 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. Resultados obtenidos del estudio exploratorio, muestran que la mayoría de los restaurantes puede ser clasificada dentro de alguna de las siguientes categorías:

- Cocina mexicana
- Cocina china
- Cocina japonesa
- Cocina rápida
- Cocina internacional
- Cocina de mariscos
- Cocina italiana

De acuerdo con los resultados del análisis de los volúmenes de generación de aceites vegetales residuales, asociados con cada tipo, encabeza la lista, la cocina rápida casi la mitad de aceite vegetal residual, en tanto que la comida italiana, apenas alcanza una generación del 1%, como se muestra en la Tabla 1. El volumen total estimado supera los 2 millones de litros anuales, sólo en Mexicali. Este resultado representa una gran cantidad de materia prima susceptible de utilizarse para transesterificarla o en un proceso de saponificación.

Tabla 1. Generación de aceites vegetales y grasas residuales por categoría.

Tipos de cocinas	Volúmenes de generación de aceites anuales (litros)	Porcentajes
Rápida	1036796	48%
China	217327	10%
Internacional	303959	14%
Japonesa	89412	4%
Mexicana	298183	14%
Mariscos	177113	8%
Italiana	16257	1%
Total	2139048	100%

Como parte de los resultados preliminares, también se logró identificar los destinos de los volúmenes generados, según se aprecia en la Figura 1.

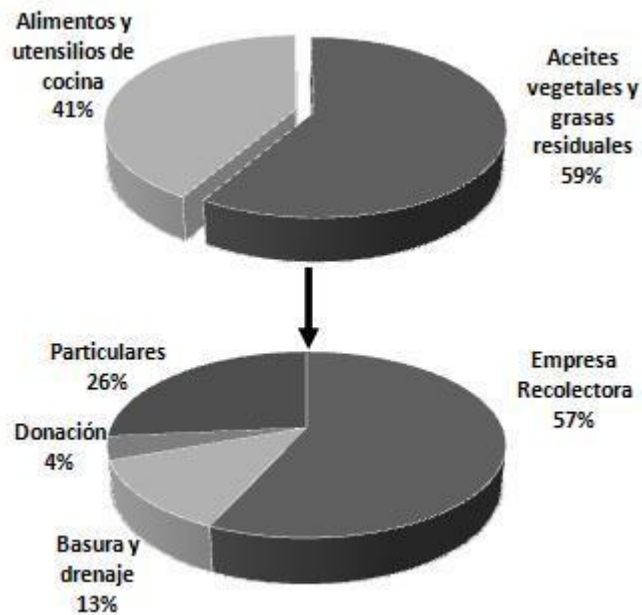


Figura 1. Destinos de los volúmenes de aceite residual generado

La Figura 1 refleja que de la cantidad de aceite y grasa que se utiliza en la preparación de alimentos, el 41% se consume en alimentos o se desecha en los utensilios de cocina, mientras que el 59% restante se convierte en aceite y grasa residual. De la Figura 1 se aprecia que este porcentaje de desechos tiene diferentes destinos, puede observarse que más de la mitad de tales residuos son recolectados por empresas dedicadas a tal actividad, en tanto que un estimado de 271 000 litros de aceites y grasas residuales son enviadas al drenaje municipal. La ubicación de los restaurantes de Mexicali, presenta algunos puntos de alta concentración, como se muestra en la Figura 2 donde se aprecian zonas consideradas turísticas, con una gran oferta de servicios de alimentos y otras zonas, con baja densidad de establecimientos de este tipo.

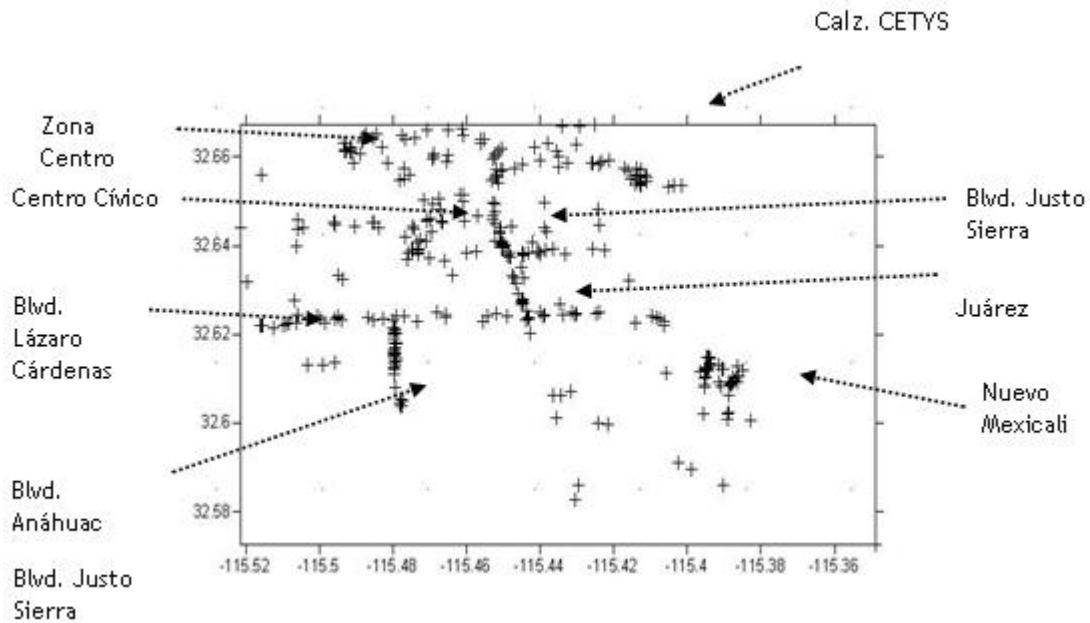


Figura 2. Ubicación de los restaurantes de Mexicali.

Según el mapa obtenido, los restaurantes de la ciudad, se encuentran en su mayoría agrupados 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

Propuesta de revalorización de aceites residuales

Los aceites residuales también pueden ser utilizados como materia prima en diversos procesos o bien, con el propósito de satisfacer demandas energéticas. Algunas de las alternativas para su reutilización son:

- ✓ Producción de biodiesel para satisfacer diversas demandas energéticas como lo son: sector transporte público, sector agrícola, producción de electricidad, calderas, bombeo de agua en pozos, etc.
- ✓ Elaboración de alimentos balanceados para animales
- ✓ Fabricación de jabones

Actualmente, en Mexicali no es relevante y 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 y sustentables 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. La Figura 3 muestra resultados de un inventario de emisiones, que reporta altos índices de CO₂, SO₂ y PM10 provocados por el sector transporte público,

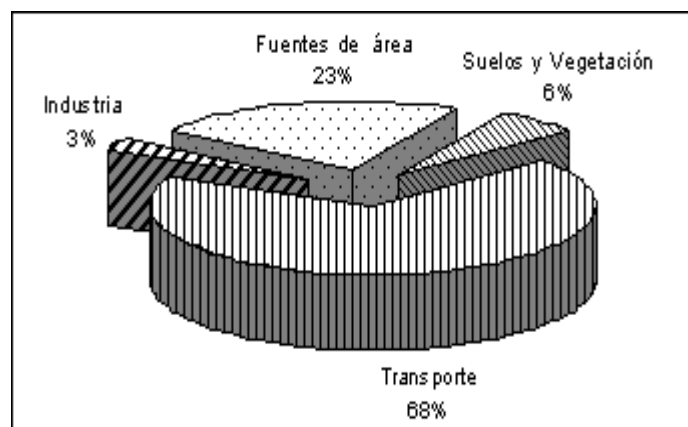


Figura 3. Contribución a las emisiones totales por sector.

Inventario de emisiones, 1996

En este sentido el sector transporte constituye un factor importante para promover el uso del biodiesel, de manera específica, 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.

Métodos para la obtención de biodiesel

De acuerdo a la American Standard for Testing and Materials (ASTM) el biodiesel se define como una mezcla de ésteres mono alquílicos de ácidos grasos de cadena larga, obtenidos de aceites vegetales o grasas animales y se utilizan en los motores de ignición-compresión. Para la obtención de tales ésteres, se han desarrollado procesos que difieren, esencialmente, en el tipo de catalizador que utilizan. Los procesos más comúnmente utilizados son: catálisis ácida y catálisis alcalina o una mezcla de ambas y por otra parte, se ha estado explorando la catálisis enzimática. Enseguida se describe, brevemente, cada una de ellas.

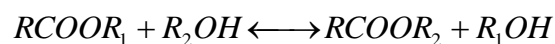
Catálisis Alcalina. En este método se puede utilizar el hidróxido de sodio o hidróxido de potasio con un alcohol de cadena corta como el metanol o el etanol, así como con cualquier tipo de aceite refinado. En este proceso se recomienda producir el alcóxido para obtener una mejor eficiencia global en la reacción. La temperatura usual de la reacción es de 60°C aunque ello depende del tipo de catalizador. De manera general puede decirse que el proceso con catálisis alcalina es más rápido que el proceso con ácido.

Catálisis Ácida. En este método la materia prima, compuesta de ácidos grasos y triglicéridos (aceite o grasa), reacciona con metanol y ácido sulfúrico o sulfónico como catalizador. En la

catálisis ácida al igual que la alcalina un exceso de alcohol produce una mejor conversión de triglicéridos, pero la recuperación de glicerol es más difícil y la reacción óptima entre el alcohol y otro material se debe determinar de forma experimental, considerando que cada proceso es un nuevo problema. La temperatura típica de la reacción es superior a los 100°C y requiere más de 3 horas para que se complete la conversión, por lo que en general se considera, esta ruta como menos eficiente que la vía alcalina.

Catálisis enzimática. En la catálisis enzimática, se utilizan catalizadores que hacen posible la transesterificación de los triglicéridos, tanto en fase acuosa como en sistemas no acuosos. En este tipo de catálisis, los ácidos grasos libres, presentes en las grasas y aceites de desecho, pueden ser convertidos completamente en ésteres alquílicos, lo cual representa una ventaja frente a los procedimientos anteriores. Sin embargo, los costos de producción mediante catálisis enzimática, son mayores que los correspondientes a una catálisis alcalina (Meher et al., 2006).

Proceso de transesterificación. Consiste en reemplazar el glicerol por un alcohol simple, como el metanol o el etanol, de forma que se produzcan ésteres metílicos o etílicos de ácidos grasos. La reacción de transesterificación puede representarse de la siguiente manera simplificada (Zhang, 2003).



triglicérido + alcohol ↔ éster + glicerol

Donde de manera simplificada:

R = cadena de ácidos grasos

R1 = cadena de triglicérido

R2 = grupo metilo o etilo

Procedimiento para la obtención de biodiesel de aceites residuales

Dadas las características de las mezclas aceitosas residuales, es necesario efectuar el proceso de obtención de biodiesel en dos etapas. Estudios previos (Meher et al., 2006; Canacki, 2005, Felizardo et al., 2005; Canacki et al., 2003) muestran que los ácidos grasos libres presentes inhiben la reacción de transesterificación por vía alcalina debido a que forman jabones. Por ello es necesario efectuar un pretratamiento que consiste en una reacción de las mezclas aceitosas con un alcohol, en presencia de un ácido como catalizador, lo cual permite convertir los ácidos grasos libres en los correspondientes ésteres. Se recomienda que la cantidad de ácidos grasos libres, presente en los aceites residuales, después del pretratamiento sea menor del 1%, para alcanzar mejores niveles de conversión. Otra variable que debe controlarse es la cantidad de agua presente en los aceites residuales, ya que también reduce el rendimiento de la reacción.

Especificación de biodiesel

Con la finalidad de verificar el que el biodiesel pueda utilizarse como sustituto del diesel de petróleo, se aplican pruebas al biodiesel, las cuales se describen en normas utilizadas a nivel internacional como estándares. En Estados Unidos, se utilizan las normas ASTM D6751, mientras que en la Unión Europea existe un estándar para el biodiesel utilizado para vehículos, conocida como EN 14214 y otro para el biodiesel que se usa como aceite de calentamiento, que es el estándar EN 14213.

Según la Norma ASTM D6751, deben desarrollarse pruebas específicas para determinar las propiedades del biodiesel y caracterizarlo como tal. Entre las pruebas más comunes se encuentran: glicerina libre y total, gravedad específica, viscosidad cinemática, punto flash, temperatura de destilación, número de cetano, punto de nube, corrosión de tiras de cobre y número ácido entre otras, las cuales se resumen en la Tabla 2. (Van Gerpen et al., 2004).

El punto de ignición típico del biodiesel al 100% es mayor de 200 °C, que lo clasifica como no inflamable. La prueba de agua y sedimento sirve para determinar la limpieza del biodiesel. Su importancia radica en el hecho de que el agua presente puede reaccionar con los ésteres produciendo ácidos grasos libres, además de que propicia el crecimiento microbiano en los tanques de almacenamiento. Valores muy altos de la viscosidad cinemática provocan que los inyectores no trabajen apropiadamente, por lo que es primordial la medición de la misma. La prueba de ceniza sulfatada mide la cantidad de residuos de ceniza mineral que queda cuando se quema un combustible e indica la cantidad de residuos metálicos procedentes del catalizador utilizado en la reacción de esterificación. La determinación de azufre puede ser un indicador de la contaminación de material proteico. La prueba de corrosión por tiras de cobre permite monitorear la presencia de ácidos en el combustible. La determinación del punto de nube, es de suma importancia porque permite determinar las condiciones de fluidización del biodiesel a bajas temperaturas.

Tabla 2. Especificación del biodiesel

Propiedad	Método	Límites	Unidades
Punto de ignición	D93	130 min	°C
Agua y sedimento	D270 9	0.05 max	% volume

			n
Viscosidad cinemática	D445	1.9 – 6.0	mm ² /s
Ceniza sulfatada	D874	0.02 max	% en peso
Azufre total	D545 3	0.05 max	% en peso
Corrosión de tiras de cobre	D130	No. 3 max	
Número de cetano	D613	47 min	
Punto de nube	D250 0	Reportado	°C
Residuo de carbono	D453 0	0.05 max	% en peso
Número ácido	D664	0.8 max	mgKO H/g
Glicerina libre	D658 4	0.02	% en peso
Glicerina total	D658 4	0.24	% en peso
Fósforo	D495 1	0.001	% en peso

Destilación al vacío punto final	D116 0	360°C max, 90% destilación	°C
----------------------------------	-----------	----------------------------------	----

El número ácido es un indicador de los ácidos grasos libres, que pueden causar corrosión. Resulta importante determinar los valores de glicerina libre y glicerina total, porque si tales valores son altos provocan combustión incompleta y depósitos de carbón en los motores (Van Gerpen et al., 2006).

Además de los residuos oleicos, generados en Baja California, también se dispone de grandes cantidades de biomasa, desechada de los cultivos tradicionales del estado, como el trigo y el eucalipto. A continuación se hace una breve descripción del potencial de recuperación energética que representa este recurso en el estado.

Biomasa residual en Baja California

Generalmente, los remanentes de las actividades humanas de cualquier tipo, son considerados sin valor ni utilidad, y por ello son considerados como residuos. Sin embargo, esta forma de pensar puede modificarse, dado que algunos residuos constituyen una fuente potencial de materia prima, que es factible de ser transformada en biocombustibles.

La revalorización económica de los residuos agrícolas y forestales puede convertirlos en subproductos valorizados con la mejora del medio ambiente, la rentabilidad y la competitividad de las empresas agrícolas. Los requerimientos de fuentes de energía calórica en el sector rural son tan comunes como cualquier otra empresa del sector industrial, como puede ser la generación de vapor, climatización de espacios habitacionales para mayor

confort, cocción de alimentos, entre otros. Estos requerimientos de fuentes de energía calórica son satisfechos en gran porcentaje, de fuentes fósil de energía, que pueden ser sustituidos sin ningún inconveniente por fuentes renovables de energía como la biomasa.

La utilización de los residuos de madera fomenta el desarrollo de las economías regionales, especialmente en las cuencas forestoindustriales de menor grado de desarrollo relativo, aumenta el empleo y la rentabilidad de la cadena forestoindustrial y reduce el impacto negativo sobre el medio ambiente al gestionar correctamente los residuos. Pero siempre se tratará de desarrollar y adaptar las producciones, los procesos y las tecnologías a las necesidades particularidades nacionales y regionales y hacer un uso racional y eficiente de nuestros recursos naturales, buscando el equilibrio entre la rentabilidad empresarial y la preservación del medio ambiente.

Como consecuencia de ello, surge la necesidad de desarrollar proyectos que utilicen energías renovables, para reducir al máximo el impacto al ambiente y al mismo tiempo maximizar ganancias por el uso eficiente de estas formas de energía.

La mayoría de la biomasa producida en los sistemas agrícola y forestal no es utilizada para la producción de bioenergía debido a que existen diversas dificultades técnicas en su extracción, manipulación y transporte, así como insuficiente información sobre la cantidad y calidad de estos residuos (Andersen et al., 2005). Los residuos forestales o agrícolas no están generalmente concentrados, ofrecen unas características heterogéneas muy variables de unos sistemas a otros, al depender de condiciones no controladas como el clima, edafología, sistema de aprovechamiento etc. Por tanto, la utilización de estos residuos encarece las operaciones de obtención y abastecimiento, teniendo además que homogeneizar el material utilizable (Askew y Holmes, 2002; McKendry, 2002). Por esta razón, las industrias generadoras de energía orientan su demanda exclusivamente hacia los

residuos generados en la industria de primera y segunda transformación, que son materiales generalmente de alta calidad para la combustión, y además están preconcentrados en las diferentes empresas (McKendry, 2002). Por tanto, mediante un sistema de recogida bien organizado resulta fácil su obtención y logística. Pero provoca la existencia de una biomasa residual producida en las explotaciones del sector primario, aprovechamientos y operaciones forestales y explotaciones agrícolas que no están siendo utilizadas, dado que presentan las citadas dificultades técnicas. El aprovechamiento de estos residuos requiere optimizar los procesos de extracción, transporte, selección y transformación.

La explotación racional de la biomasa para la obtención de energía por parte de las plantas generadoras, pasaría, por una parte, por orientar a éstas hacia el uso de residuos finales, y por otra parte, utilizar biomasa que no se está movilizando en la actualidad. Esta concepción requiere llevar a cabo una valoración global de la biomasa residual existente, que defina cual es residuo final que no está siendo utilizado para la generación de energía, y qué residuos son reutilizables por los sectores industriales más importantes de la región.

Los residuos generados directamente en aprovechamientos madereros pueden tener su origen en actividades diversas: claras y clareos, podas, selección de rebrotes etc. Actualmente la mayor parte de los residuos forestales procede de cortas finales. En estos casos este material está compuesto por ramas, despuntes, hojas y acículas. Los tratamientos más comunes de esta biomasa residual son la quema controlada o el amontonamiento del material en el monte. En raras ocasiones se trituran o astillan estos residuos, hace que en la mayor parte de los casos el material quede disperso por la zona de corta. En algunas ocasiones, generalmente cuando se realiza una regeneración artificial, se realiza un desbroce o trituración in situ con el fin de facilitar las labores de plantación. El abandono de estos materiales en la superficie del monte supone un alto impacto ambiental,

debido a que el elevado volumen de biomasa sobrante tiene una lenta descomposición, permaneciendo largo tiempo en el lugar. En la época calurosa estos residuos sufren un secado suponiendo posteriormente focos con alto riesgo de incendio. Por otra parte, ejerce un impacto paisajístico visual y sobre la fauna de la zona, que ve limitada su movilidad. Además, puede suponer una fuente de parásitos y plagas (Hakkila et al., 1997).

Las razones han sido tanto económicas como técnicas, así como falta de información y conocimiento de los propietarios de las explotaciones forestales y de la sociedad en general. El aprovechamiento de estos residuos requiere optimizar los procesos de extracción, transporte, selección y transformación. El concepto debe ser económicamente atractivo, ecológicamente sostenible y aceptado por la sociedad. Esto significa que el aprovechamiento energético de los residuos forestales debe quedar supeditado al correcto manejo de las masas forestales (Velázquez 2006).

El trigo para grano continúa siendo uno de los cultivos más importante en Mexicali, México, con aproximadamente 80202 Ha sembradas durante el ciclo 2007; esta cantidad representa al 91.6 % de la superficie sembrada de trigo en el Estado de Baja California y el 11.36 a nivel Nacional (SFA, 2008).

La paja remanente de la cosecha de trigo, presenta grandes dificultades para cualquier faena de labranza o siembra directa que se quiera realizar sobre ellos. Este problema alcanza grandes dimensiones en Mexicali, al igual que en países productores de trigo, pues las cantidades de paja que quedan en los rastrojos son enormes, llegando con frecuencia a ser de aproximadamente 6 Toneladas por hectárea, con contenidos de humedad cercanos a 10%. Después de la cosecha la incorporación de la paja, se lleva a cabo con una velocidad de descomposición muy baja (Riquelme, 2003; Vidal y Troncoso, 2003).

El uso del fuego para eliminar la paja de trigo, aun es una práctica muy común, principalmente por su bajo costo y sus efectos fitosanitarios positivos (Madariaga, 2003). Sin embargo, esta alternativa causa problemas ambientales. Esta práctica no es sustentable y en los próximos años la presión para eliminarla la hará insostenible, tal como ocurrió en los países desarrollados.

Las alternativas existentes a la quema de la paja de los rastrojos difieren en sus relaciones costo/beneficio, y se requiere en forma urgente encontrar soluciones atractivas para los productores de trigo. Las alternativas propuestas para reducir la cantidad de paja incluyen la recolección en formas de pacas para ser usado como forraje para ganado. Otra alternativa es formar filas de la paja en el mismo terreno y esperar que se degrade con el paso de los años; esta alternativa, que ocupa entre 10 y 15% del terreno, no es atractiva por la pérdida de rendimiento y la posibilidad de incendio. La incorporación de toda la paja al suelo causa un aumento de la relación Carbono/Nitrógeno y otros problemas cuya solución tiene costos que no soporta la baja rentabilidad del cultivo (Crovetto, 1999; 2002).

La importancia de dejar la paja de los rastrojos sobre el suelo para protegerlo de la erosión y lograr alta productividad, se ha hecho sustentable en el tiempo a través de la siembra directa (Crovetto, 1999; 2002). A lo anterior debe agregarse la búsqueda de soluciones para los problemas de alelopatía, acidez del suelo y al fenómeno conocido como "hambre de nitrógeno", causada por la alta relación Carbono/Nitrógeno (Crovetto, 1999; 2002; Kumar y Goh, 2000).

En esta búsqueda de alternativas, existe la posibilidad de procesar biomasa en Baja California, a partir del eucalipto, que es un recurso forestal presente con 135 hectáreas,

distribuidas en 84 hectáreas en Mexicali y 51 Hectáreas en Ensenada. Este recurso está siendo parcialmente aprovechado ya que su madera es utilizada como biomasa, sus hojas son consideradas como desecho y en el mejor de los casos son utilizadas como mejorador de suelo previo tratamiento en composta. Considerando estos antecedentes, se han planteado proyectos para utilizar las hojas de eucalipto como materia prima para la obtención de aceites esenciales y posteriormente transformar los desechos de las hojas de eucalipto, en bloques de biomasa para satisfacer los requerimientos de energía térmica en la zona rural, o como suministro energético de otros procesos. El procedimiento de peletizado, tiene como finalidad asegurar un manejo y almacenamiento adecuado de la biomasa obtenida, asemejándose ésta, en todo momento a la madera que se obtiene del tronco. De acuerdo con estimaciones preliminares, la paja de trigo desechada cada ciclo agrícola contiene un potencial energético de 4 Millones de MJ. Cabe señalar que una planta de fabricación de bloques de biomasa residual, debe localizarse cerca de donde se genera los residuos, para evitar los costos relacionados con la logística del abastecimiento, la distribución, el almacenamiento y la manipulación.

Potencial para la producción de biodiesel y revalorización energética de la biomasa en Baja California

La producción de biodiesel a partir de aceites comestibles residuales representa una oportunidad para revalorizar los desechos y disminuir la contaminación del sistema de drenaje de la ciudad, al evitar en la medida de lo posible la inadecuada disposición final que se le da a las cantidades de aceites que se generan en los restaurantes. En este mismo sentido, la producción de biodiesel a partir de semilla de algodón, antes de que sea convertida en harina proteica, representa una opción que debe explorarse, al igual que el aprovechamiento de las grasas bovinas.

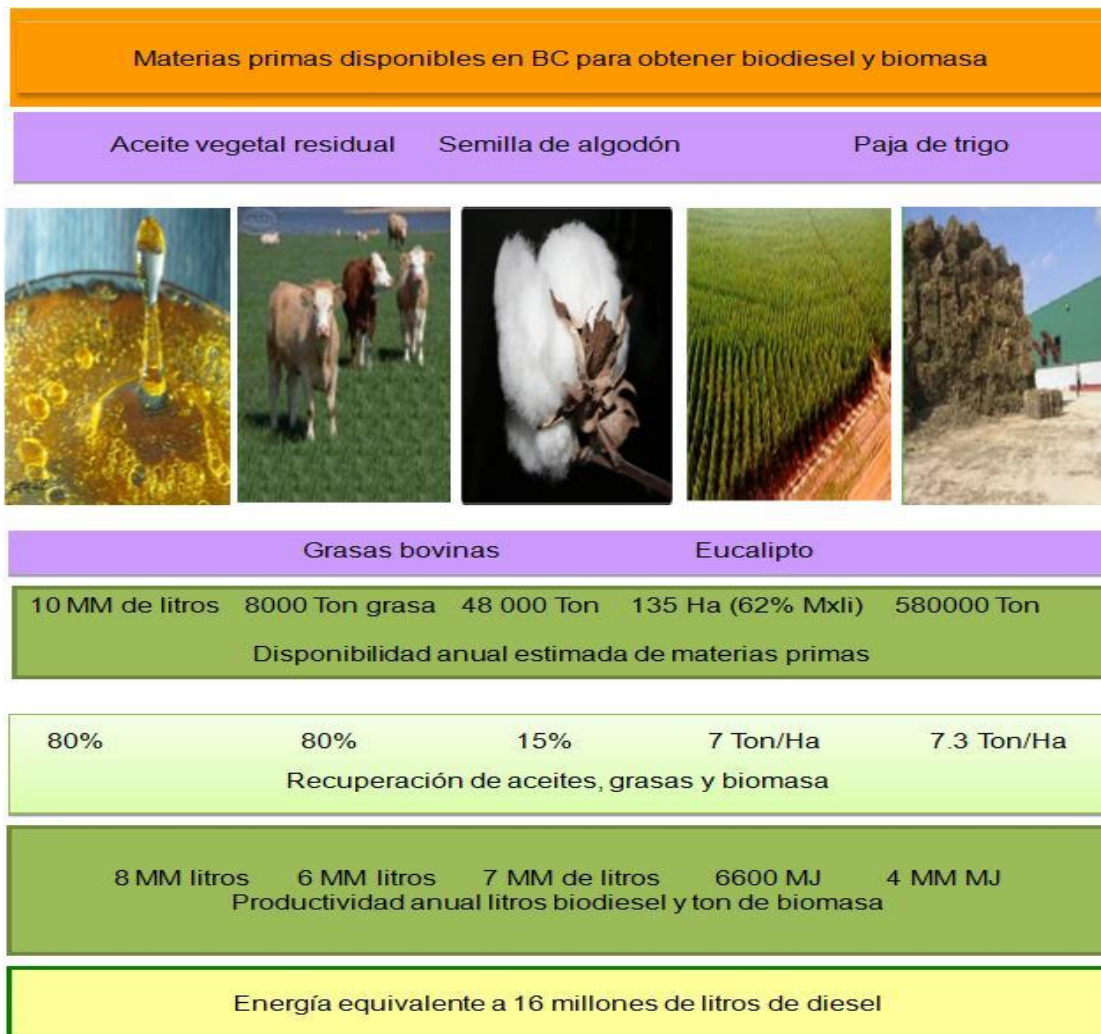


Figura 4. Resumen de materias primas para producir biodiesel en Baja California y potencial de biomasa residual recuperable (Fuente: elaboración propia, Montero).

Como se ilustra en la Figura 4, la disponibilidad de materia prima en Baja California, para la producción de biodiesel, se estimó, de manera preliminar, en 10 millones de litros de aceite vegetal residual, 8000 toneladas de grasas bovinas, 48000 toneladas de semilla de algodón, 135 Ha sembradas de eucalipto y 580000 toneladas de paja de trigo desechadas anualmente. Considerando, las recuperaciones parciales de tales insumos, indicadas en la Figura 4, se determinó una producción aproximada de 21 millones de litros de biodiesel y una energía de la biomasa residual de 4 millones de MJ, que en conjunto representan una energía equivalente a 16.3 millones de litros de diesel.

Referencias

Andersen, R., Towers, W. y Smith, P. 2005. Assessing the potential for biomass energy to contribute to Scotland's renewable energy needs. *Biomass & Bioenergy* 29(2): 73-82.

Anzil Federico, Junio 2007 <http://www.zonaeconomica.com/biocombustibles>

Askew, M. y Holmes, C. 2002. The potential for biomass and energy crops in agriculture in Europe, in land use, policy and rural economy terms (Reprinted from *Aspects in Applied Biology*, vol 65, pg 365-374, 2001), *International Sugar Journal* 104 (1247): 482.

Blanchard, E. 1992. Stubble handling begins at harvest. *Western Australia Journal of Agriculture* 33:22-25

Canacki Mustafa, (2006). The potential of restaurant waste lipids as biodiesel feedstocks. *Bioresource Technology*. 98, 183-190.

Canacki Mustafa, Van Gerpen J. (2003). A pilot plant to produce biodiesel from high fatty acid feedstocks. *Transactions of the ASAE*, 46, 945-954.

Crovetto, C. 1999. *Agricultura de conservación: el grano para el hombre, la paja para el suelo*. p. 145-170. Eumedia, Madrid, España

Hakkila, P., Heino, M. y Puranen, E. 1997. *Forest management for bioenergy*, Finish Forest Research Institute.

INE (Instituto Nacional de Estadística y Geografía) (1996). Inventario de emisiones para Mexicali. Disponible en: <http://www.ine.gob.mx/publicaciones>

INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía) (2004). SAIC 5.

Kumar, K., and K. Goh. 2000. Crop residues and management practices. *Adv. Agron.* 68:197-319].

Madariaga, R. 2003. Vida después de la muerte: rastrojos e incidencias de enfermedades en cultivos anuales. p. 158. *In E. Acevedo (ed.) Sustentabilidad en cultivos anuales. Serie Ciencias Agronómicas N° 8. Universidad de Chile, Santiago, Chile*

Meher LC, Sagar Vidya, Naik SN, (2006). Technical aspects of biodiesel production by transesterification a review. *Renewable & sustainable energy reviews.* 10, 248-268.

Riquelme, J. 2003. Mecanización agrícola en cero labranza. p. 111-133. *In E. Acevedo (ed.) Sustentabilidad en cultivos anuales. Serie Ciencias Agronómicas N°8. Universidad de Chile, Santiago, Chile.*

SENER. (Secretaría de Energía) 2006a. Prospectiva de Petrolíferos 2005-2015.

SENER. (Secretaría de Energía) 2006b. Potencialidades y viabilidad del uso del bioetanol y biodiesel para el transporte en México.

SENER. (Secretaría de Energía) 2008. Ley de promoción y desarrollo de los bioenergéticos. D.O.F., 1 de febrero de 2008.

SFA (Secretaría de Fomento Agropecuario) www.sfa.gob.mx Anuario estadístico de la producción Agrícola para el estado de Baja California, 2007

Sosa Jesús, 2007. Análisis de factibilidad técnica y económica para la producción de biodiesel en el Valle de Mexicali, a partir de aceite de la semilla de algodón y otros subproductos. (En proceso).

Van Gerpen J., Pruszko R., Clements D., Shanks B., Knothe G. (2006). Building a Successful Biodiesel Business. Biodiesel Basics.

Velázquez Martí 2006. Situación de los sistemas de aprovechamiento de los residuos forestales para su utilización energética, revista científica y técnica de ecología y medio ambiente ecosistemas.

4.5 OBTENCIÓN DE ACEITE ESENCIAL DE EUCALIPTO UTILIZANDO ENERGÍAS RENOVABLES Y BIODIÉSEL OBTENIDO A PARTIR DE GRASA ANIMAL Y ACEITE VEGETAL RESIDUAL

OBTENCIÓN DE ACEITE ESENCIAL DE EUCALIPTO UTILIZANDO ENERGÍAS RENOVABLES Y BIODIÉSEL OBTENIDO A PARTIR DE GRASA ANIMAL Y ACEITE VEGETAL RESIDUAL

Conrado García González¹, Ana María Vázquez Espinoza^{1,2}, Gisela Montero Alpírez¹, Marcos Coronado Ortega¹

¹Instituto de Ingeniería, Universidad Autónoma de Baja California, Calle de la Normal S/N, Col. Insurgentes Este, CP 21280, Mexicali, BC; ² Escuela de Ingeniería y Negocios Ciudad Guadalupe Victoria.

cnrdgarcia@gmail.com; anyvazquez@uabc.mx; gmontero@uabc.edu.mx;
coronado.marcos@gmail.com

RESUMEN

En Baja California el eucalipto es un recurso forestal presente con 135 hectáreas, dado que están siendo utilizadas parcialmente como biomasa, se está desarrollando un proyecto de investigación para obtener aceite esencial de eucalipto. Este compuesto es extraído mediante la técnica de destilación por arrastre de vapor de hojas de eucalipto que se desechan del proceso de obtención de madera o biomasa. El proceso que se está desarrollando, contempla que los requerimientos de energía, se satisfagan mediante combinaciones de sistemas que utilizan energía renovable tales como: energía solar fotovoltaica y térmica, energía solar fotovoltaica-biodiésel y energía solar fotovoltaica-biomasa, obtenida ésta de la torta desechada de las hojas de eucalipto procesadas. Continuando con la línea de bioenergéticos la producción de biodiésel a partir de aceites vegetales y grasas de animales residuales generadas en la región es otro de los proyectos de investigación que lleva a cabo el grupo de biocombustibles del Instituto de Ingeniería. La utilización de desechos tiene la finalidad múltiple de: a) Revalorizar los desechos generados de los aceites vegetales y grasas de ganado vacuno, b) Evitar en la medida de lo posible, su inadecuada disposición final y c) Utilizar insumos no comestibles. Para ello se ha estado trabajando en la caracterización de las materias primas, así como en el desarrollo de pruebas del biodiésel obtenido.

Palabras Clave – Aceite esencial, Energías renovables, Biodiésel, Aceites residuales.

INTRODUCCIÓN

Obtención de aceite esencial de eucalipto utilizando energías renovables

De acuerdo a los datos obtenidos de la Secretaría de Fomento Agropecuario para el estado

de Baja California existen 135 hectáreas sembradas de Eucalipto que están siendo parcialmente aprovechados como fuente de biomasa. Por lo que el proyecto que se describe a continuación, tiene como objetivo aprovechar de manera integral este recurso, tanto como biomasa, como para la obtención de aceites esenciales.

Las plantas elaboran los aceites esenciales con el fin de protegerse de las enfermedades, ahuyentar insectos depredadores y atraer insectos benéficos que producen la polinización. Los aceites esenciales están constituidos por terpenoides (monoterpenos, sesquiterpenos, diterpenos) y fenilpropanoides, compuestos que son volátiles y por lo tanto arrastrables por vapor de agua al ser insolubles en el mismo.

El desarrollo teórico del concepto de extracción de aceites esenciales utilizando agua en fase vapor es explicado debido al efecto de su temperatura (100 °C). Por lo general 2 horas, es tiempo suficiente para que las glándulas vegetales que contienen el tejido vegetal se rompan, liberando el aceite esencial, el cual presenta, como es de esperarse, su correspondiente presión de vapor a estas condiciones. Adicionalmente una de las características del aceite esencial es de ser insoluble en agua, propiedad que es aprovechada después del condensador, en el separador donde se forman dos fases: una de aceite esencial y otra de agua, lo cual facilita la separación del aceite de la fase acuosa, por diferencia de densidades.

Las hojas de eucalipto contienen aceite esencial compuesto principalmente por una mezcla de terpenos como el α -pineno, p-cimeno, limoneno y otros compuestos oxigenados. El 1,8-cineol es el constituyente mayoritario el cual se encuentra entre 65 y 70 % (Soto, 2007).

En la Figura 1 se presentan algunas de las estructuras químicas de los constituyentes más importantes del aceite crudo de eucalipto.

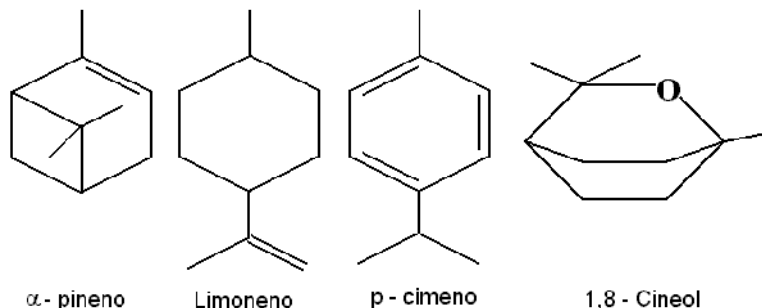


Figura 1. Estructuras químicas de los constituyentes más importantes del aceite crudo de eucalipto

El árbol de eucalipto tiene múltiples usos. Como biomasa además de usar sus troncos en la construcción, se usa la pulpa para la fabricación de papel. El aceite esencial extraído de sus hojas se usa en la industria por sus propiedades saborizantes, antisépticas y expectorantes, por las cuales es muy usado en la fabricación de pastillas, jarabes, inhalantes, ungüentos de uso medicinal, ambientadores, gomas de mascar, productos para la higiene bucal y lociones. Además, los residuos del proceso de extracción del aceite esencial se usan para la fabricación de aglomerados de madera, briquetas combustibles y como materia para elaboración de composta mejoradora de tierras de cultivo.

La extracción de aceites esenciales se justifica por diferentes motivos entre los que pueden mencionarse:

- Como producto secundario de las actividades agrícolas
- Del producto vegetal que no cumple con la calidad para lo cual es producido
- Darle valor agregado al producto vegetal
- Del excedente de la saturación del mercado
- Cuando el valor de producto en el mercado no es redituable

- Siembra de la especie vegetal con el objetivo de extracción de aceite esencial

Para el proceso de obtención de los aceites esenciales existen varios métodos para obtener el aceite esencial. Los más importantes son:

- Extracción por solvente: El aceite esencial es extraído por disolución en un solvente, el cual luego es separado por destilación a presión reducida.
- Extracción supercrítica: Es similar al caso anterior, pero con la diferencia de la utilización del solvente en condiciones supercríticas de presión y temperatura.
- Hidrodestilación: En este proceso el vapor es generado dentro del equipo y el material a procesar no está en contacto con el agua.
- Cohobación: Este proceso es similar al anterior, con la diferencia que el material a extraer está sumergido en agua.
- Arrastre con vapor: En este caso el vapor de agua es producido en un generador y es inyectado en el equipo por medio de distribuidores.

La calidad de un aceite esencial en los vegetales depende, entre otros, de los siguientes factores:

- Variedad de la especie vegetal
- Condiciones edáficas del cultivo
- Régimen climático
- Latitud
- Labores agrícolas

- Postcosecha
- Método de extracción
- Procesos industriales de extracción

En general el porcentaje de aceite esencial extraído de los vegetales se encuentra entre fracciones de 1% hasta 3%, refiriéndose a la relación masa/masa.

La caracterización cualitativa de un aceite esencial, es de gran importancia en el presente proyecto ya que una vez obtenido y desecado el producto, el siguiente paso es identificar los constituyentes del aceite. Anteriormente, esto se realizaba identificando los componentes individuales mediante largas y costosas marchas de reacciones químicas que incluían el aislamiento y purificación, utilizando cromatografías de capa delgada, cromatografías en columna, destilación fraccionada, para su posterior determinación estructural por métodos químicos tradicionales como la obtención de derivados, las reacciones de coloración, las pruebas de grupos funcionales, entre otros. Actualmente existen varias opciones para determinar las moléculas que componen a los aceites esenciales, las tecnologías que se utiliza para la identificación de los compuestos son:

- Cromatografía de gases (CG)
- Espectrometría de masas (EM)
- Resonancia magnética nuclear (RMN)
- Espectroscopia infrarroja (EIR)

Hoy en día existen bibliotecas de espectros, lo suficientemente grandes, para la identificación de los cientos de moléculas que componen a los aceites esenciales a través de la búsqueda espectral automática (Soto, 2007).

En el presente proyecto se utiliza un equipo que combina dos de las tecnologías mencionadas anteriormente, cromatografía de gases-espectrometría de masas, mejor conocido por sus iniciales como CG/EM.

Ante la realidad ineludible del agotamiento de las reservas petroleras, se inicia en México un nuevo panorama para el desarrollo de las alternativas energéticas. Como consecuencia de ello, surge la necesidad de desarrollar proyectos como este, que utilizan energías renovables como una alternativa factible de energía, para reducir al máximo el impacto al ambiente al mismo tiempo de maximizar ganancias por el uso eficiente de estas formas de energía.

Cuando se alude a las fuentes de energía es común hacer referencia a su origen, es decir, de dónde se obtienen. Una fuente de energía como el petróleo produce varias formas de energía: calorífica, mecánica, química o eléctrica. Existen diferentes tipos de fuentes de energía según su origen y aprovechamiento de los cuales sólo se describen las que son del interés para el presente trabajo (García, 1993).

- 1) Energía del petróleo. Con el petróleo presente en diversas formas derivadas de éste se transforma la energía química en calor para posteriormente transformarse en electricidad o su aprovechamiento directo para procesos térmicos.
- 2) Energía de la biomasa. Es el aprovechamiento de la materia viva y los desechos orgánicos como combustibles, por lo tanto se trata de energía química, que se pueden transformar en cualquier forma de energía, este recurso es de carácter alterno por su relativa novedad en las aplicaciones industriales.
- 3) Energía solar. Se aprovecha directamente la radiación solar para producir calor o electricidad, una de las más nobles y recientemente más exploradas formas de energía. En ésta los equipos utilizados para la captación del recurso solar se encuentran aun en

desarrollo, optimizando la manera de capturar la energía solar y reduciendo el costo de los equipos desarrollados.

Existe también una clasificación de las fuentes de energía de acuerdo con su duración. Las fuentes no renovables son aquellas que después de cierto tiempo de explotación acabarán por agotarse. Éste es el caso de los combustibles fósiles y la energía geotérmica. Por otro lado están las fuentes de energía renovables, entre las que se encuentran la solar, biomasa, y eólica, dado que son fuentes que para todo fin práctico nunca se agotarán (García, 1993).

Para el caso de la energía solar las tecnologías para el aprovechamiento son muchas y muy variadas; sus ventajas y desventajas dependen de buena medida de la aplicación o uso final de ella. Para propósitos de análisis, se consideran cuatro grandes grupos de tecnologías según el proceso de conversión de energía solar en energía útil que se empleen (Viqueira, 1985). Estas tecnologías son:

- | | |
|---------------|----------------|
| -Fototérmicos | -Fotovoltaicos |
| -Fotoquímicos | -Termoiónicos |

Para el desarrollo y la aplicación de la presente investigación, las tecnologías de interés son las mostradas en la Figura 2.

Estas tecnologías de aprovechamiento solar térmico tienen como propósito capturar la energía solar y convertirla en energía útil, que puede utilizarse como energía calorífica como tal o posteriormente puede ser transformada en energía mecánica o eléctrica.

Existen variantes de tecnologías para el aprovechamiento de la energía solar de las cuales, la tecnología de los sistemas térmicos activos, son de interés para este proyecto y se describe a continuación.

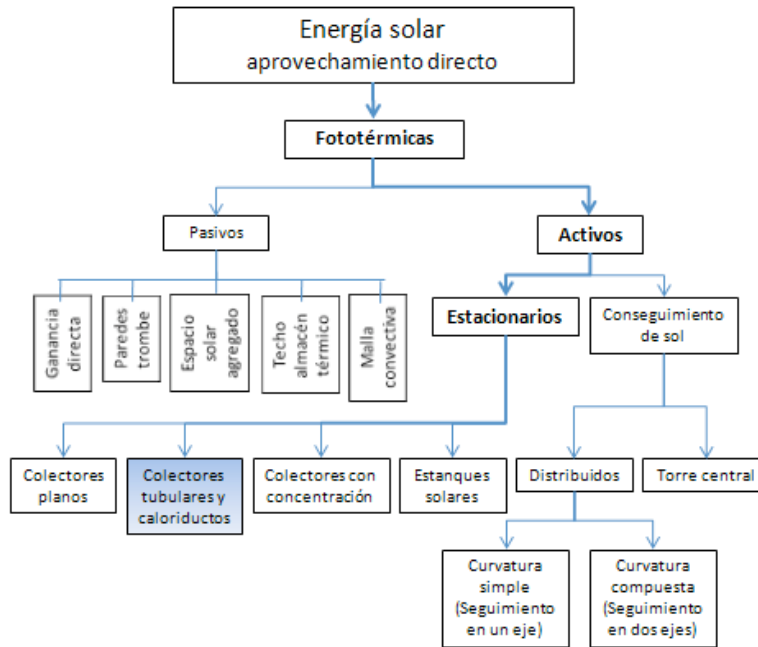


Figura 2. Tecnologías para el aprovechamiento directo de la energía solar.

Sistemas térmicos activos.

Los sistemas activos utilizan determinados materiales para transformar la energía solar en calor, esos materiales aprovechan de forma selectiva la longitud de onda que más calor proporciona y mediante sistemas de conducción y convección, se almacena para su consumo posterior. Los sistemas activos empleados para captar la energía térmica que recibimos del sol se dividen según la temperatura de utilización en tres categorías:

a) Sistemas de baja temperatura.

Tienen una temperatura de trabajo de hasta 125 °C. Son los más importantes para el desarrollo de este proyecto, pues las aplicaciones más utilizadas para calentamiento de agua entran en esa gama de temperaturas, tienen como componente principal los captadores planos llamados también colectores o paneles.

b) Sistemas de mediana temperatura.

Utilizan temperaturas de trabajo entre 125 °C y 400 °C. Los captadores más usados en sistemas de media temperatura, son los cilíndrico-parabólicos los cuales tienen una forma parabólica, recubierta de un material reflectante, que concentra los rayos solares en el centro de la parábola, donde se encuentra posicionado un tubo transparente y en su interior un tubo recubierto de una capa selectiva como absorbedor, por cuyo interior circula el líquido a calentar, normalmente aceites térmicos que soportan las altas temperaturas de trabajo. Este tipo de captadores aprovecha exclusivamente la radiación directa, por tanto deben incorporar un seguimiento de la posición del sol.

c) Sistemas de alta temperatura.

Son sistemas que trabajan con temperaturas muy elevadas desde 400 a 1500 °C, los desarrollados hasta la fecha son prototipos de investigación, para intentar producir corriente eléctrica de forma rentable, aprovechando el vapor de agua producido por la concentración de la radiación solar producida por un campo de espejos, orientados hacia una torre y dirigidos mediante un ordenador. Estos espejos son guiados mediante un seguidor de doble eje.

En la aplicación de la tecnología solar al presente proyecto se pretende instalar tubos evacuados para aportar parte del requerimiento térmico del proceso.

Tal tecnología resulta adecuada, porque sus parámetros de operación se encuentran en el rango de condiciones del proceso, además que no requiere de sistema de seguimiento solar, lo cual lo haría más costoso y complejo de usar. Esta tecnología se encuentra aún en fase de investigación con la finalidad de de tomar la mejor decisión.

Las tecnologías fotovoltaicas convierten directamente la energía solar captada en energía eléctrica, al generarse portadores móviles de cargas eléctricas, como resultado de la absorción de la energía de los fotones que inciden sobre materiales semiconductores. El uso de esta tecnología está propuesto como suministro energético en la presente investigación.

Para el caso del uso de las hojas de eucalipto de desecho como fuente de energía, estas se descomponen a sus moléculas elementales acompañadas por la liberación de calor. Por lo tanto la liberación de energía de conversión de la biomasa en energía útil imita procesos naturales por ejemplo para el uso mismo de generación de energía calórica para la producción de vapor, que será empleado en la producción de aceite esencial. Por lo tanto, la energía obtenida de la biomasa es una forma de energía renovable. Utilizar esta energía recicla al carbón y no añade dióxido de carbono al medio ambiente, en contraste con los combustibles fósiles. De todas las fuentes renovables de energía, la biomasa se diferencia en que almacena energía solar con eficiencia. Además, es la única fuente renovable de carbón, y puede ser procesada convenientemente en combustibles.

La energía neta disponible en la biomasa por combustión es de alrededor de 8MJ/kg para la madera verde, 20MJ/kg para la materia vegetal seca; en comparación con cerca de 23 a 30MJ/kg para el carbón. La eficiencia del proceso de la conversión se determina cuánto la energía real puede ser utilizada en forma práctica.

Una de las mayores limitaciones que presenta el aprovechamiento energético de biomasa residual es la baja densidad de los materiales, lo cual plantea problemas en el almacenaje, transporte, etc. En muchos casos, debido a la falta de mercado que absorba estos subproductos o a la carencia de tecnología y medios para hacer una utilización rentable de

los mismos, estos residuos industriales plantean a las empresas una serie de problemas de acumulación y eliminación de los mismos, con el consiguiente coste adicional al proceso de fabricación propiamente dicho.

En el caso de aprovechamiento energético de estos materiales, su baja densidad hace necesarios grandes volúmenes de almacén y encarece notablemente el transporte y el manejo por lo que, para evitar este inconveniente, se procede a compactarlos obteniéndose productos elaborados como las briquetas y los pellets que presentan ventajas adicionales como la limpieza, homogeneidad y facilidad de manejo, a la vez que se reducen considerablemente las pérdidas por degradación durante períodos de almacenaje prolongados.

Por otra parte, hay que tener en cuenta el ahorro económico que representa la eliminación de residuos inaprovechables, puesto que se evitan unos costes de almacenamiento, transporte y eliminación que suponen una carga para las empresas. Además, el vertido de estos residuos plantea varios problemas en algunos lugares impide la acumulación sobre todo en los casos en que los materiales residuales son de naturaleza inflamables.

MATERIALES Y MÉTODOS

Materia prima vegetal.

Las hojas de eucalipto fueron recolectadas de árboles de la especie *Camandulensis* que se encuentran en la periferia del Instituto de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Baja California en octubre del 2008 y transportado inmediatamente al laboratorio para su procesamiento, no hubo separación física, ni secado previo, con la intención de operar a las mismas condiciones de una planta industrial.

Para la extracción de aceite esencial de eucalipto, se está utilizando la técnica de hidrodestilación, a nivel laboratorio para pruebas preliminares, para lo cual se utiliza el siguiente material:

-Plancha de calentamiento

-Matraz de 2 litros

-Termómetro de mercurio

-Soportes

-Pinzas

-Condensador

-Embudo de separación

El método utilizado para las pruebas preliminares de obtención de aceite esencial de eucalipto de la especie *Camandulensis*, fue como a continuación se describe:

Se pesan las hojas de eucalipto a procesar, se introducen al matraz de tal forma que la densidad de llenado permita fluir libremente al vapor que pasa a través del material. Para esta prueba no fue necesario triturar las hojas.

Se deposita agua potable de cantidad conocida dentro del matraz. La parte inferior del matraz debe de estar en contacto con la plancha caliente con temperatura superior a los 110 °C, para que el calor cedido de éste al matraz permita generar vapor y éste fluya por el material.

La salida del vapor, pasa a un serpentín ó espiral enfriado por agua y posteriormente el vapor condensado y el aceite esencial se recolectan en un separador de fases, el cual debe de tener la suficiente altura y diámetro para evitar la pérdida de aceite y además permitir la

recolección fácil del mismo. Se determina la proporción de aceite esencial en función de la masa de hojas de eucalipto procesada, el aceite esencial obtenido se envasa en un contenedor color ámbar para evitar que se descomponga a causa de la reacción producida por los rayos solares. En todo momento se debe de tener cuidado de evitar cualquier contacto, del aceite esencial obtenido, con la piel ya que debido a su concentración éste es tóxico.

Método de caracterización.

Se utilizará análisis químico por Cromatografía de Gases combinada con Espectrometría de Masas (CG/EM) para la identificación de los compuestos químicos presentes en el aceite esencial obtenido.

Adicionalmente se realizó una valoración preliminar de los requerimientos energéticos que son suministrados por combustibles convencionales así como el costo de los mismos en el proceso de obtención de aceites esenciales.

Como ya se mencionó, uno de los insumos energéticos que considera este proyecto de aprovechamiento integral del eucalipto, es el uso del biodiésel como combustible, que suministre parte de la energía requerida por el proceso de extracción de aceites esenciales. En el caso particular de este proyecto que se desarrolla en Mexicali, se está considerando la obtención de biodiésel a partir de aceites residuales y de grasas animales, que se describe a continuación.

Biodiésel a partir de grasa animal y aceite residual vegetal

La energía primaria que se genera en México se obtiene casi en un 70% a partir del petróleo, recurso cuyas reservas han comenzado a disminuir rápidamente debido al incremento de su explotación.

Uno de los sectores que depende directamente de los productos derivados del petróleo es el sector transporte, cuya demanda de gasolinas se sigue incrementando año con año, mostrando una deficiencia que es subsanada mediante la importación y que mantendrá ese comportamiento debido a la falta de inversiones en infraestructura en el sector petrolero del país (SENER, 2006). Ante tal panorama, es necesario desarrollar alternativas para satisfacer la demanda interna de combustibles, con combustibles no derivados del petróleo que además sean menos contaminantes que los combustibles fósiles.

La producción de combustibles alternativos de los fósiles a partir de sustancias renovables adquirió en los últimos años un relevante impulso a escala mundial. Las motivaciones han sido, entre otras, el constante agotamiento de los fósiles en un lapso relativamente corto considerado a escala histórica, el uso constante del petróleo y los altos costo que origina conseguirlo propiciando la búsqueda de nuevas alternativas de combustibles que cumplan con mejores características que los ya existentes.

Dadas las tendencias de consumo y explotación de petróleo, éste puede llegar a disminuir tanto que no sea suficiente para abastecer la demanda mundial lo cual nos lleva a una situación indeseable, que se agrava en términos económicos, por la volatilidad de los precios del petróleo así como por la dependencia hacia productores con comportamientos impredecibles. Por tales motivos, se requiere de constantes investigaciones para encontrar

alternativas económicas para la generación de energía, que además tenga un menor impacto ambiental.

En la actualidad el obtener energía tomando en cuenta que sea de bajo impacto ambiental tiene una gran funcionalidad, por eso hoy en día considerar nuevas fuentes alternas de energía renovables puede llegar a solucionar algunas necesidades de energía.

La energía renovable es la que se obtiene de fuentes naturales virtualmente inagotables, unas por la inmensa cantidad de energía que contienen, y otras porque son capaces de regenerarse por medios naturales. Existen diferentes formas de energía renovables como: la energía solar, eólica, mareomotriz, hidráulica, geotérmica y la biomasa, que son consideradas como fuentes que disminuyen la contaminación.

La producción de combustibles a partir de la biomasa es una de las maneras de obtener energía cuyas principales características son que proviene de una fuente natural y que contamina menos.

El utilizar materia orgánica para producir energía es factible. Un ejemplo puede ser, el utilizar la materia orgánica que desechamos, a la cual no le damos la disposición final correcta, para generar energía que puede servir para mover un motor o generar electricidad. Entre los desechos que se generan en Mexicali, se encuentran los aceites vegetales residuales. Mexicali cuenta con aproximadamente 1094 restaurantes, la mayoría de los cuales envían al drenaje aceites vegetales usados que utilizan para cocinar sus productos, sin tener en cuenta el procedimiento indicado por la NOM-CCA-026-ECOL/1993.

Tomando en cuenta este problema es posible generar energía a través de estos aceites que se desechan y disminuir la contaminación produciendo un biocombustible como el biodiésel, utilizando alguno de los procesos que existen para la producción de este combustible pero adaptándolo a las características de la mezcla de los aceites que se recolecten en Mexicali y principalmente a las condiciones de esta ciudad para lograr el más alto rendimiento en producción de este combustible.

Antecedentes

Los biocombustibles son de origen biológico. Algunos ejemplos son etanol y biodiésel. La producción de biocombustibles viene del año 1900, siendo Rudolph Diesel quien utilizara por primera vez los aceites vegetales como combustibles, en su motor de ignición – compresión, utilizando el aceite de cacahuete y predijera el uso futuro de los biocombustibles.

En el caso de biodiésel es un combustible fabricado a partir de aceites vegetales, grasas y o aceites reciclados o de grasas animales. Dado que las plantas producen aceites a partir de la luz del sol y el aire, y este ciclo se repite año tras año, estos aceites son renovables. Del mismo modo, los animales consumen plantas, producen grasas que son consideradas renovables (EERE, 2006).

De acuerdo con la American Standard for Testing and Materials (ASTM), el biodiésel se define como una mezcla de ésteres mono alquílicos de ácidos grasos de cadena larga, obtenidos de aceites vegetales o grasas animales y se utilizan en los motores de ignición-compresión (diesel).

El biodiésel fue introducido en África antes de la II Guerra Mundial, pero su uso no alcanzó las dimensiones de demanda del diesel. Fue hasta que las recientes preocupaciones por el medio ambiente, provocaron un resurgimiento de este combustible en todo el mundo, (Canakci, 2006).

Ante la escasez de combustibles fósiles, se destaca la investigación realizada por Otto y Vivacqua en el Brasil, sobre diesel de origen vegetal, pero fue hasta el año de 1970, que el biodiésel se desarrolló de forma significativa a raíz de la crisis energética que se sucedía en el momento, y al elevado costo del petróleo alcanzado como consecuencia de los factores políticos existentes.

Las primeras pruebas técnicas con biodiésel se llevaron a cabo en 1982 en Austria y Alemania, pero sólo hasta el año de 1985 en Austria, se construyó la primera planta piloto productora.

Hoy en día países como Alemania, Austria, Canadá, Estados Unidos, Francia, Italia, Malasia y Suecia son pioneros en la producción, ensayo y uso de biodiésel en automóviles (Smeets, 2005).

Las plantas industriales de generación de biodiésel son construidas por varias compañías en Europa; cada una de estas plantas producirá más de 5.7 millones de litros de combustible cada año (Canakci, 2006).

En Europa, el biodiésel es producido principalmente a partir del aceite de la semilla de canola (también conocida como colza) y de metanol. El producto es utilizado en las

máquinas diesel, puro o mezclado con diesel de petróleo, en proporciones que van desde un 5% hasta un 20%, generalmente. En Alemania y Austria se usa puro para obtener un máximo beneficio ambiental.

Además de la colza, en los últimos años se ha producido biodiésel a partir de soya, girasol y palma, siendo esta última la principal fuente vegetal utilizada en Malasia para la producción de biodiésel.

En el estado de Minnesota, en Estados Unidos, una legislación obliga a que todo el diesel convencional sea mezclado en un 2% con combustible orgánico siempre y cuando se alcance una capacidad de producción de al menos 8 millones de galones.

En España en la actualidad hay diversas marcas y distribuidores que ofrecen biodiésel con mezclas que se acercan a los estándares internacionales. En la actualidad se espera una nueva regulación que marque la proporción de las mezclas para que el consumidor conozca exactamente qué biodiésel está utilizando en su motor.

Recientemente, la SENER, el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) y la Agencia de Cooperación Técnica Alemana (GTZ) desarrollaron un estudio para evaluar el potencial de México para producir biocombustibles. El estudio consideró dos posibles biocombustibles, el etanol y el biodiésel.

Las materias primas evaluadas para el caso del etanol fueron: sorgo, maíz, yuca, caña de azúcar y remolacha azucarera; para producir biodiésel se consideraron: palma de aceite, jatropha curcas, girasol, canola, cártamo, soya, sebo animal y aceite reciclado. Asimismo, se consideraron aceites usados. El resultado del estudio arrojó que el maíz y la caña de

azúcar resultan rentables para producir bioetanol, cuando el precio del mismo sea de por lo menos \$0.55 dólares/m³.

En el caso del biodiésel, dado que al igual que el bioetanol, los costos de producción dependen significativamente de los costos de la materia prima, la producción inmediata podría basarse en el uso de materias primas de bajo costo como los aceites y las grasas residuales. Uno de los cultivos señalados como promisorios fue la *jatropha curcas* (SENER, 2006).

Actualmente, esta oleaginosa mexicana, la *jatropha curcas*, se explota de manera masiva para extraer aceite vegetal que se utiliza para producir biodiésel, en la primera planta, localizada en el Estado de Michoacán, que inició sus operaciones en septiembre de 2007, (Márquez, 2006).

Tal como la *jatropha*, existen otras semillas como el algodón, que son materia prima potencial para producir biodiésel. Según estimaciones preliminares (Sosa, 2007), durante el ciclo agrícola 2006 la producción de semilla de algodón en el Valle de Mexicali obtenida del proceso de despepite, alcanzó las 48395 toneladas, que junto con la grasa de vacuno puede procesarse para obtener aproximadamente 4 millones de litros de biodiésel y 20000 toneladas de harinas proteicas, lo que representa una oportunidad para producir biodiésel y darle valor agregado al producto, dado que el nuevo uso, como combustible, abate los costos de producción.

Procedimiento para la obtención de biodiésel

Dadas las características de las mezclas aceitosas recolectadas, es necesario efectuar el proceso de obtención de biodiésel en dos etapas. Estudios previos (Meher et al., 2006;

Canacki, 2005, Felizardo et al., 2005; Canacki et al., 2003) muestran que los ácidos grasos libres presentes inhiben la reacción de transesterificación por vía alcalina debido a que forman jabones. Por ello es necesario efectuar un pretratamiento que consiste en una reacción de las mezclas aceitosas con un alcohol, en presencia de un ácido como catalizador, lo cual permite convertir los ácidos grasos libres en los correspondientes ésteres. Se recomienda que la cantidad de ácidos grasos libres, presente en los aceites residuales, después del pretratamiento sea menor del 1%, para alcanzar mejores niveles de conversión. Otra variable que debe controlarse es la cantidad de agua presente en los aceites residuales, ya que también reduce el rendimiento de la reacción.

La Figura 3 muestra de manera simplificada cada una de las etapas, de uno de los procedimientos que se ha probado a nivel laboratorio para obtener biodiésel a partir de aceites comestibles residuales, utilizando metanol e hidróxido de sodio.

Las etapas son las siguientes: 1) recolección del aceite vegetal usado de los restaurantes, 2) Filtrado del aceite, para eliminar residuos sólidos, 3) pretratamiento de los aceites residuales, 4) Pruebas preliminares de pH, 5) Determinación de la cantidad de catalizador (NaOH) se va utilizar, 6) Preparación de metóxido, 7) Reacción de transesterificación, 8) Separación del biodiésel y la glicerina y 9) lavado y 10) Pruebas para caracterizar el biodiésel obtenido.

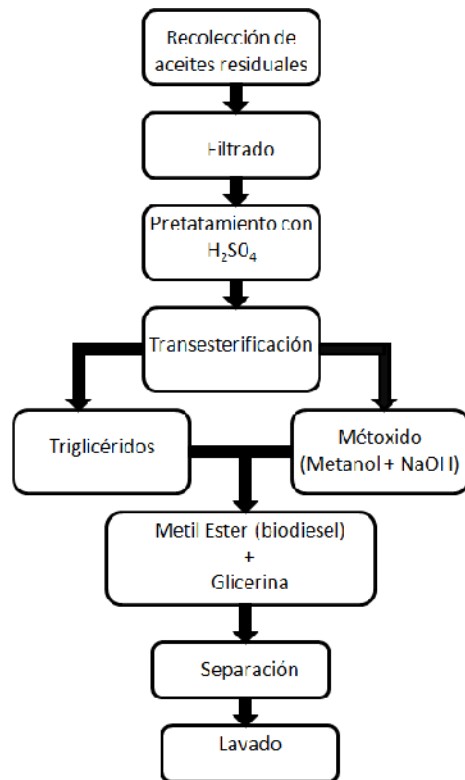


Figura 3. Esquema para la producción de biodiésel.

RESULTADOS

Se realizó la práctica con hojas de eucalipto de la especie *Camandulensis*, el cual se obtiene aceite esencial, dentro de los parámetros de cantidad reportados en la literatura. Se repitió el experimento utilizando las hojas del mismo árbol, obteniéndose los mismos resultados que el experimento anterior en cuanto a la cantidad de aceite esencial obtenido. Se encuentran en desarrollo los procedimientos para la evaluación de las propiedades fisicoquímicas del aceite y su composición, en un equipo de cromatografía de gases-espectrometría de masas.

Los resultados de la valoración preliminar de los requerimientos energéticos de combustibles convencionales, para el proceso de extracción de 1 kg de aceite esencial de eucalipto se describen en la Tabla 2.

Tabla 1. Pruebas de biodiesel

Propiedad	Método	Límites	Unidades
Punto flash	D93	130 min	°C
Agua y sedimento	D2709	0.05 max	% volumen
Viscosidad cinemática	D445	1.9 – 6.0	mm ² /s
Ceniza sulfatada	D874	0.02 max	% en peso
Azufre total	D5453	0.05 max	% en peso
Corrosión de tiras de cobre	D130	No. 3 max	
Número de cetano	D613	47 min	
Punto de nube	D2500	Reportado	°C
Residuo de carbono	D4530	0.05 max	% en peso
Número ácido	D664	0.8 max	Mg KOH/g
Glicerina libre	D6584	0.02	% en peso
Glicerina total	D6584	0.24	% en peso
Fósforo	D4951	0.001	% en peso
Destilación al vacío punto final	D1160	360°C max, a 90% destilado	°C

Tabla 1. Pruebas para caracterizar el biodiésel, según la Norma ASTM D6751.

Se especificaron las condiciones de proceso para efectuar pruebas preliminares con base en Poder calorífico las características esperadas de los aceites vegetales usados y nuevos que se van a procesar, así como en las recomendaciones planteadas acerca de las condiciones de proceso ya

probadas por las fuentes citadas. Hasta el momento, se han efectuado pruebas exploratorias para definir completamente los procesos a seguir para obtener biodiésel tanto a partir de aceites nuevos, como a partir de aceites usados. El objetivo de estas pruebas es obtener las condiciones para producir biodiésel con el mayor rendimiento posible.

Las pruebas con aceite nuevo se efectuaron utilizando catálisis alcalina con hidróxido de sodio, hasta obtener biodiésel y glicerina. Las muestras de aceite nuevo refinado fueron de girasol y canola. Posteriormente, se efectuarán pruebas de obtención de biodiésel utilizando aceite extraído de la semilla de algodón, producto del desepite de algodón en el Valle de Mexicali.

CONCLUSIONES

Para México, país agroindustrial, la implementación de este tipo de sistema de extracción de aceite esencial constituye una buena alternativa para obtener un producto de los desechos de otra actividad industrial.

Para implementar la visión del desarrollo sostenible en agroempresas y cuantificar sus resultados, se debe promover el uso racional de los recursos naturales por medio de la implementación de los procesos productivos para minimizar la pérdida de materias primas, energía, agua y la dispersión de contaminantes. Además de la búsqueda de alternativas de uso a la biomasa de desecho, para minimizar el impacto al ambiente y lograr mayor rentabilidad por el reciclaje y uso de recursos renovables.

Se sugiere el uso de vapor de agua como solvente medio de transporte, para la obtención de aceites esenciales, debido al bajo impacto que tiene el vapor de agua sobre el medio

ambiente y a la casi nula contaminación que provoca en el producto obtenido, comparado con otros solventes orgánicos. Seguramente esto hace de la extracción con vapor de agua en sus diversos arreglos, uno de los procesos más empleado a nivel mundial, para la obtención de aceites esenciales.

Los elevados costos de los equipos de extracción de aceite esencial en el mercado, así como los altos costos de los combustibles usados para su operación, crean una barrera económica para su aplicación generalizada y uso industrial por lo que este proyecto debe continuarse, utilizando sistemas de extracción eficientes así como con fuentes de energías renovables, que eleven las ganancias por la disminución de los gastos generados por los combustibles y que sean de adaptar e implementar en el área rural.

Es pertinente considerar, no sólo el uso de este recurso forestal como biomasa, sino pugnar por el uso integral del mismo, que incluya el uso de los residuos como materia prima para la fabricación de ladrillos combustibles y la obtención de aceite esencial. Asimismo, debe analizarse cuidadosamente, la factibilidad técnica y económica de las diversas combinaciones de energías contempladas en este proyecto, de acuerdo con las condiciones del lugar en el que se desarrolle el proyecto de aprovechamiento del eucalipto.

La producción de biodiésel a partir de aceites comestibles residuales representa una oportunidad para revalorizar los desechos y disminuir la contaminación del sistema de drenaje de la ciudad, al evitar en la medida de lo posible la inadecuada disposición final que se le da a las cantidades de aceites que se generan en los restaurantes. En este mismo sentido, la producción de biodiésel a partir de semilla de algodón, antes de que sea convertida en harina proteica, representa una opción que debe explorarse para la obtención

de biodiésel. De acuerdo con los resultados experimentales preliminares realizados con las muestras colectadas de aceites residuales, se requiere efectuar la reacción de transesterificación en dos etapas, con la finalidad de disminuir la cantidad de ácidos grasos libres.

LITERATURA CITADA

- Canacki M., J. Van Gerpen. 2003. A pilot plant to produce biodiesel from high fatty acid feedstocks. Transactions of the ASABE, 46, 945-954.
- Canacki M. 2007. The potential of restaurant waste lipids as biodiesel feedstocks. Bioresource Technology 98(1): 183-190.
- Cerpa M. G. 2007. Hidrodestilación de aceites esenciales: modelado y caracterización. Disertación Doctoral, Universidad de Valladolid. 304 pp
- CONAE 2007. Las energías renovables en México y el mundo. Comisión Nacional de Energía, www.conae.gob.mx
- Duffie, J. A., W. A. Beckman. 2006. Solar Engineering of Thermal Processes. Langue, Anglais. 908 pp. 26-58
- Energy Efficiency and Renewable Energy (EERE). 2006. Biodiesel Handling and Use Guidelines. DOE/GO-102006-2358.
- Felizardo P., M. J. Neiva Correia, I. Raposo, J. F. Mendes, R. Berkemeier, J. Moura-Bordado. 2006. Production of biodiesel from waste frying oils. Waste Management 26(5): 487-494.
- Gil, E. P, A. V. Sáez. 2005. Evaluación a escala de planta piloto del proceso industrial para la obtención de aceite esencial de cardamomo, bajo la filosofía de cero emisiones Universidad EAFIT. Disponible en: www.eafit.edu.co/NR/rdonlyres/E5DAC709-C033-4BBF-8939-78683B9-EC5C0/0/Cuaderno30.pdf

- Márquez J. 2007. Biodiésel opción energética, El Universal, 29, septiembre.
- Meher LC, D. Vidya-Sagar, S. N. Naik. 2006. Technical aspects of biodiesel production by transesterification - a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 10(3): 248-268.
- Rousseau, R. W. 1987. *Handbook of Separation Process Technology*. Wiley, N. York. 1024 pp.
- SENER Secretaria de energía. 2007. Balance nacional de energía. Disponible en: www.sener.gob.mx
- SENER. Secretaría de Energía 2006. Potencialidades y viabilidad del uso del bioetanol y biodiésel para el transporte en México. Disponible en: www.sener.gob.mx
- SENER. Secretaría de Energía 2006. Prospectiva de Petrolíferos 2005-2015. Disponible en: www.sener.gob.mx
- SFA Secretaría de Fomento Agropecuario. 2008. Anuario Estadístico de la producción Agrícola para el Estado de Baja California. Disponible en: www.sfa.gob.mx
- Smeets E., M. Junginger, A. Faaij. 2005. Supportive study for the OECD on alternative developments in biofuel production across the world. Report NWS-E-2005-141. Utrecht University, The Netherlands. Disponible en: <http://igitur-archive.library.uu.nl/chem/2007-0320-200551/NWS-E-2005-141.pdf>
- Sosa J., 2007. Análisis de factibilidad técnica y económica para la producción de biodiésel en el Valle de Mexicali, a partir de aceite de la semilla de algodón y otros subproductos. En proceso.
- Soto R. 2007. Rectificación para la recuperación de Eucaliptol a partir de las aguas madres. Universidad Mayor de San Simón Facultad de ciencias Químicas. 2007 10-14
- Van Gerpen J, B Shanks, R. Pruszko, D. Clements, G. Knothe. 2004. *Biodiesel Analytical Methods*. August 2002-January 2004. NREL National Renewable Energy Laboratory, NREL/SR-510-36240, Department of Energy, USA.
- Concheiro A. A., Rodríguez-Viqueira L. 1985. Alternativas energéticas. Fondo de Cultura Económica. México. p. 55-159
- Zhang, Y, M. A. Dubé, D. D. McLean, M. Kates. 2003. Biodiesel production from waste cooking oil: 1. Process design and technological assessment. *Bioresource Technology* 89(1): 1-16.

4.6 BIODIESEL: UNA OPCIÓN PARA RECUPERAR ENERGÍA DE ACEITES VEGETALES RESIDUALES Y GRASAS BOVINAS

BIODIESEL: UNA OPCIÓN PARA RECUPERAR ENERGÍA DE ACEITES VEGETALES RESIDUALES Y GRASAS BOVINAS

Montero, G.¹; Vázquez, A.^{1,2,3}; Sosa, J.⁴; Campbell, H.¹;
Lambert, A.⁵

¹Instituto de Ingeniería. ²Estudiante del Programa de Maestría y Doctorado en Ciencias e Ingeniería

³Escuela de Ingeniería y Negocios. Guadalupe Victoria. ⁴Unidad de Estudios en Economía Agrícola y

Agroempresa. ⁵Facultad de Ingeniería. Universidad Autónoma de Baja California.

Bvld. Benito Juárez y Calle de la Normal S/N, Col. Insurgentes Este, C.P. 21280, Mexicali, BC-México.

Resumen

Baja California es un estado de la República Mexicana que satisface sus requerimientos energéticos mediante la importación de combustibles fósiles y el transporte de los mismos desde otras partes del país. Por ello, la producción de biocombustibles a partir de residuos oleicos representa una oportunidad para participar en la matriz energética de la entidad, y a la vez contribuir a resolver el problema de la disposición de grandes cantidades de aceite y grasas que desechan los establecimientos de preparación de alimentos. Por otra parte, reportes del sector productivo, muestran que en Baja California se producen anualmente más de 6000 toneladas de grasas bovinas, las cuales son utilizadas principalmente para la producción de alimentos balanceados y cuyo uso puede ser orientado hacia la obtención de biodiesel, considerando que su estructura química conlleva un contenido energético que resulta atractivo para su conversión en bioenergéticos. Contabilizando ambos insumos para la producción de biodiesel, se estima que es factible satisfacer un 65% de la demanda de diesel del sector transporte de Baja California, utilizando una mezcla B2. Resultados experimentales de este proyecto indican que el proceso más adecuado, para la obtención del biodiesel es una transesterificación alcalina, precedida de un tratamiento ácido.

Palabras clave: Biodiesel, residuos oleicos, aceites vegetales residuales, grasas bovinas.

1.Introducción

El Estado de Baja California, está situado en la región noroeste de la República Mexicana y en la parte septentrional de la Península del mismo nombre. Limita al norte con la frontera de Estados Unidos de América, al este por el río Colorado y el Mar de Cortés, al sur por el paralelo 28 y al oeste por el océano Pacífico [1].

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

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

Las principales ciudades de Baja California son: Ensenada, Tijuana Rosarito, Tecate y su capital Mexicali. Las cuatro primeras ciudades se encuentran ubicadas en la zona costa del estado. Precisamente, en la zona costa, se encuentra una de las dos zonas productoras de

* Correspondencia: gmontero@iing.mxl.uabc.mx; gmontero4@gmail.com

ganado bovino para carne, que posee Baja California, donde se produce el 22% de la carne de bovino y la otra zona es la del Valle de Mexicali, donde se produce el 78 % restante. El Estado cuenta con 6 rastros, 3 rastros Tipo Inspección Federal (TIF) ubicados en Mexicali donde se produce una carne de excelente calidad gracias a los sistemas denominados ARPOC (análisis de riesgos en puntos críticos de control), implementados en todos los establecimientos TIF, 1 particular en Tijuana y 2 municipales en Ensenada y Tecate [2].

La población de Baja California, es esencialmente de tipo inmigrante, razón por la cual es un polo donde se encuentran varias culturas, lo que provoca la proliferación de diferentes tipos de estilos de preparación de alimentos. Así es posible encontrar cocina china, mexicana y la denominada rápida, entre otras. Por su mayor presencia, destaca la cocina denominada rápida, con alta influencia de la cultura estadounidense.

2. Antecedentes

En México, país con recursos petroleros, el desarrollo de la industria para la producción de bioenergéticos es incipiente. Entre los casos de industria dedicada al desarrollo de biocombustibles en México se encuentran: el Proyecto de Bioenergía de Nuevo León S.A. en Monterrey, primero en el país que aprovecha el biogás liberado por un relleno sanitario para generar energía eléctrica, con una capacidad de 7 MW. Otro caso es El Grupo Energéticos S.A., quien en colaboración con el Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey, firmó un convenio de colaboración para producir biodiesel a partir de grasa animal de desecho de rastros. En julio del 2005, en Nuevo León, se inauguró la planta con una inversión de 1.5 millones de dólares y con una capacidad de producción inicial de 500 mil litros por mes [3]

Como parte de esta gestión y promoción de los biocombustibles, en el año 2006, se desarrolló, por parte de la Secretaría de Energía, el Proyecto denominado Potenciales y Viabilidad del Uso de Bioetanol y Biodiesel para el Transporte en México, que arrojó datos determinantes en cuanto a las materias primas viables y las tecnologías, más adecuadas para producción de bioetanol y biodiesel, para ser utilizado en el sector transporte de México. Para la conversión a etanol fueron considerados como insumos: caña de azúcar, maíz, yuca, sorgo y remolacha azucarera, con las tecnologías maduras existentes, y en el caso de la caña de azúcar, se analizó la producción de etanol a partir del bagazo, cuya tecnología se encuentra en desarrollo. Con base en criterios de selección como: disponibilidad de una tecnología madura, costos, necesidades de inversión, superficie requerida, índice de energía neta y emisiones y mitigación de gases de efecto invernadero se seleccionó a la caña de azúcar como el cultivo más promisorio, que puede ser complementado por otros cultivos a mediano y largo plazo [4].

En el caso del biodiesel, en el proyecto, se estudiaron como insumos las semillas de colza, soya, jatropha, girasol, y cártamo, así como el uso de sebo animal y aceite reciclado. El análisis económico muestra que en todos los casos los precios de producción del biodiesel son mayores que el costo del diesel comercializado por Petróleos Mexicanos, empresa que maneja la producción y venta de todos los combustibles en el país. En México el diesel de petróleo tiene un bajo costo, y en el caso del sector agrícola, cuenta con subsidios especiales, que disminuyen más el precio por litro. Por otra parte, entre los resultados, destaca el hecho de que los costos de los insumos agrícolas representan entre el 59% y 91% de los costos de producción del biodiesel, por lo que la utilización de materias primas residuales constituye una opción a considerar.

Aunque en México, el desarrollo de los biocombustibles apenas comienza, el gobierno con una visión prospectiva, ha comenzado a legislar al respecto. Así en apoyo al desarrollo de la industria de los biocombustibles en México, en febrero de 2008 se publicó la Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos [5], cuya finalidad es la de promover y

desarrollar bioenergéticos, sin poner en riesgo la seguridad alimentaria del país. Aunada a esta ley, a finales del mismo año, se aprobó la Ley para el Aprovechamiento de Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética, que tiene por objeto regular el aprovechamiento de fuentes de energía renovables y las tecnologías limpias para generar electricidad con fines distintos a la prestación del servicio público de energía eléctrica. Esta Ley prevé entre otros instrumentos, la creación de un fideicomiso que permitirá que las fuentes de energía renovable, alcancen en el 2012, un 8 por ciento en la participación de la generación de electricidad nacional, esto sin considerar la aportación de las grandes hidroeléctricas. Con esta Ley, se pretende que México se una al grupo de países, que cuentan con políticas públicas para fomentar el desarrollo de tecnologías para el aprovechamiento de las fuentes renovables de energía [6].

3. Metodología

En este contexto de ideas, donde la seguridad alimentaria del país es un factor primordial a considerar para la selección de materias primas, se seleccionaron dos insumos que representan un gran potencial para suministrar materia prima para la producción de biodiesel, sin necesidad de desplazar tierras de cultivo o utilizar granos o materia prima que sirva de alimento. Por ello, como primera parte del análisis efectuado, se evaluaron las grasas vegetales residuales, que constituyen un problema de carácter ambiental en el estado y las grasas bovinas, que hasta el momento, son enviadas a los centros de producción de alimentos balanceados.

3.1 Materias primas potenciales en Baja California

De acuerdo con reportes del Instituto de Estadística y Geografía de México, en Mexicali se reportaron 1094 restaurantes establecidos durante el año 2005 [7]. Tomando esta información, así como resultados de un estudio exploratorio efectuado por personal del Instituto de Ingeniería de la UABC [8], se estimó que la generación de aceites vegetales residuales en el estado es de aproximadamente 10 millones de litros anuales, sólo considerando el sector de preparación de alimentos.

Por otra parte, de acuerdo con información obtenida de reportes oficiales, la producción de ganado bovino en Baja California, para el año 2006, alcanzó una cifra aproximada de 260000 animales sacrificados.

Tabla 1. Producción de ganado bovino en Baja California período 2002-2006.

Año	Mexicali		Resto del Estado	
	Animales sacrificados	Producción (toneladas)	Animales Sacrificados (cabezas)	Producción (toneladas)
2002	176943	44236	36075	9126
2003	185854	48856	26205	6484
2004	202907	57363	20198	5139
2005	223545	64742	21764	5497
2006	236527	71306	23462	5907

Considerando que los rastros TIF de Mexicali reportan un rendimiento promedio de 6.4% de grasa animal, se calculó que es factible la producción de 6 millones de litros de biodiesel, a partir de este subproducto [2].

Los métodos para la producción de biodiesel, pueden variar en función de lo sofisticado del proceso utilizado. En el caso que nos ocupa, el objetivo es producir biodiesel mediante procesos sencillos y de alto rendimiento, considerando además, las características de la

materia prima involucrada. Por ello se seleccionaron dos vías, la alcalina y la ácida, que enseguida se describen.

3.2 Métodos de obtención de biodiesel

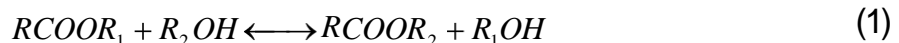
De acuerdo a la American Standard for Testing and Materials (ASTM) el biodiesel se define como una mezcla de ésteres mono alquílicos de ácidos grasos de cadena larga, obtenidos de aceites vegetales o grasas animales y se utilizan en los motores de ignición-compresión. Para la obtención de tales ésteres, se han desarrollado procesos que difieren, esencialmente, en el tipo de catalizador que utilizan. Los procesos más comúnmente utilizados son: catálisis ácida y catálisis alcalina o una mezcla de ambas y por otra parte, se ha estado explorando la catálisis enzimática. Enseguida se describe, brevemente, cada una de ellas.

Catálisis Alcalina. En este método se puede utilizar el hidróxido de sodio o hidróxido de potasio con un alcohol de cadena corta como el metanol o el etanol, así como con cualquier tipo de aceite refinado. En este proceso se recomienda producir el alcóxido para obtener una mejor eficiencia global en la reacción. La temperatura usual de la reacción es de 60°C aunque ello depende del tipo de catalizador. De manera general puede decirse que el proceso con catálisis alcalina es más rápido que el proceso con ácido.

Catálisis Ácida. En este método la materia prima, compuesta de ácidos grasos y triglicéridos (aceite o grasa), reacciona con metanol y ácido sulfúrico o sulfónico como catalizador. En la catálisis ácida al igual que la alcalina un exceso de alcohol produce una mejor conversión de triglicéridos, pero la recuperación de glicerol es más difícil y la reacción óptima entre el alcohol y otro material se debe determinar de forma experimental, considerando que cada proceso es un nuevo problema. La temperatura típica de la reacción es superior a los 100°C y requiere más de 3 horas para que se complete la conversión, por lo que en general se considera, esta ruta como menos eficiente que la vía alcalina [9].

Catálisis enzimática. En la catálisis enzimática, se utilizan catalizadores que hacen posible la transesterificación de los triglicéridos, tanto en fase acuosa como en sistemas no acuosos. En este tipo de catálisis, los ácidos grasos libres, presentes en las grasas y aceites de desecho, pueden ser convertidos completamente en ésteres alquílicos, lo cual representa una ventaja frente a los procedimientos anteriores. Sin embargo, los costos de producción mediante catálisis enzimática, son mayores que los correspondientes a una catálisis alcalina.

De manera general, el proceso de transesterificación, consiste en reemplazar el glicerol por un alcohol simple, como el metanol o el etanol, de forma que se produzcan ésteres metílicos o etílicos de ácidos grasos. La reacción de transesterificación puede representarse de la siguiente manera simplificada [10].



Donde:

R = cadena de ácidos grasos

R1 = cadena de triglicérido

R2 = grupo metilo o etilo

Cuando se procesan aceites vegetales residuales, es necesario efectuar un proceso previo catalizado con ácido, para convertir los ácidos grasos libres presentes en ésteres, para

evitar en la medida de lo posible la formación de jabón por la derivación de la reacción hacia un proceso paralelo, que compite con la reacción principal de transesterificación y que se denomina saponificación.

La disposición correcta de los aceites vegetales residuales, no sólo resuelve un grave problema de contaminación de los sistemas de drenaje municipal, sino que además representa una oportunidad para utilizar la energía disponible en los compuestos orgánicos desechados, compuestos ricos en carbono e hidrógeno que transformados en biodiesel mediante una reacción de transesterificación, son factibles de ser utilizados como biocombustible.

4. Resultados y discusión

A partir de estimaciones y proyecciones efectuadas y con base en los resultados del estudio exploratorio de generación de aceites vegetales, desarrollado en la Ciudad de Mexicali, Baja California, donde se detectaron 1094 restaurantes, con una generación aproximada de 2 millones de litros de aceite vegetal, se estima que en todo el estado de Baja California, se generan mensualmente cerca de 10 millones de litros de aceite vegetal residual.

Considerando que los procesos de obtención de biodiesel a partir tanto de aceites vegetales residuales, como las grasas de ganado bovino, tienen un rendimiento aproximado del 80%, es posible estimar que la producción de biodiesel a partir de ambos insumos es del orden de 8 millones y de 6.4 millones de litros, respectivamente. Tomando ambos insumos, se estimó una producción anual de 14.4 millones de litros de biodiesel, según puede apreciarse en la Figura 1 [10].

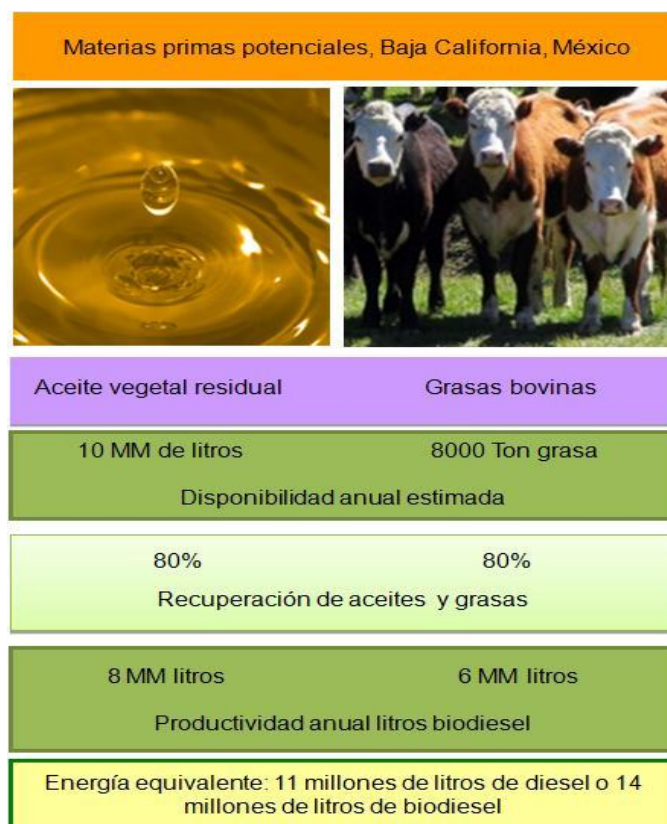


Figura 1. Estimación de la energía equivalente de aceites residuales y grasas bovinas [11].

Teniendo en cuenta los poderes caloríficos tanto del diesel, como del biodiesel, se calcularon, los equivalentes energéticos de estos residuos y subproductos, con la finalidad de evaluar su potencial para satisfacer la demanda actual de combustibles fósiles en la entidad.

Actualmente, la demanda de diesel en el sector transporte de Baja California es de aproximadamente 3 millones de litros por día, por lo que considerando la utilización de una mezcla de biodiesel tipo B2, es decir un 2% de biodiesel, con un 98% de diesel, sería posible satisfacer un 65% de tal demanda.

5. Conclusiones

Tomando en cuenta únicamente los aceites residuales generados en los restaurantes de Baja California y las grasas bovinas, que se obtienen como subproducto de la producción de carne en el estado, es factible la conversión de las mismas en biodiesel, en un volumen del orden de 16 millones de litros.

Resulta, por demás interesante, contabilizar la cantidad de energía, que en forma de aceites residuales, es desechada y que técnicamente hablando, es muy fácil de recuperar, evitando además, la contaminación asociada a la mala disposición de tales materiales, considerados como residuos.

En el caso del estado de Baja California, dependiente por completo de los combustibles procedentes de otras partes de México, la producción de un biocombustible, como el biodiesel, representa una alternativa para incidir en la matriz energética y de manera paulatina, desarrollar opciones energéticas que sean sustentables.

6. Referencias

- [1] Gobierno del estado de Baja California. Disponible en: [http:// www.bajacalifornia.gob.mx](http://www.bajacalifornia.gob.mx).
- [2] Sosa J.F. *Análisis de Factibilidad Técnica y Económica para la Producción de Biodiesel a partir de de la Grasa Animal Proveniente de las Plantas de Rendimiento de los Rastros de Mexicali*. Proyecto en desarrollo. Mexicali, Baja California, México, 2007.
- [3] Secretaría de Energía (SENER). *Energías Renovables para el Desarrollo Sustentable en México*. México, Noviembre 2006. Disponible en <http://www.sener.gob.mx>.
- [4] Reporte del Proyecto: *Potenciales y Viabilidad del Uso de Bioetanol y Biodiesel para el Transporte en México*. (Proyectos ME-T1007 – ATNDO-9375-ME y PN 04.2148.7-001.00). México, Noviembre 2006.
- [5] Diario Oficial de la Federación. DOF. *Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos*. México, 1 de febrero de 2008.
- [6] Diario Oficial de la Federación. DOF. *Ley para el Aprovechamiento de Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética*. México, 28 de noviembre de 2008.
- [7] Instituto Nacional de Estadística y Geografía. SAIC 5. México, 2005.
- [8] Montero G, Campbell H, Palacios R. *Reporte del Proyecto: Simulación y Diseño de Procesos para la Obtención de Biocombustibles, a partir de Aceites Usados*. Instituto de Ingeniería. México, 2008.
- [9] Meher LC, Sagar Vidya, Naik SN. *Technical aspects of biodiesel production by transesterification a review*. Renewable & sustainable energy reviews. 2006.

[10] Zhang Y, Dubé MA, McLean DD, Kates M. *Biodiesel production from waste cooking oil: 1. Process design and technological assessment*. Bioresource Technology. 89, 1-16, 2003.

[11] Fuente: Elaboración propia, con imágenes tomadas de:
<http://www.perulactea.com/panel/noticias/gallery/0809081028vaca%20clon2.jpg> y
<http://pepegrillo.com/wp-content/uploads/2009/01/oil.jpg>.

Agradecimientos

Agradecemos al Grupo de Biocombustibles de la Universidad Autónoma de Baja California, por las facilidades y el apoyo brindado para la realización de este proyecto.

4.7 Estimación de la generación de aceites vegetales residuales y sus usos potenciales

Estimación de la generación de aceites vegetales residuales y sus usos potenciales

Marcos Coronado O.¹, Gisela Montero A.¹, Osvaldo Leyva C.², Conrado García G.¹, Ana Vázquez E.^{1,3}

¹Instituto de Ingeniería, UABC, Mexicali, México, coronado.marcos@gmail.com, gmontero@iing.mx, uabc.mx, cnrdgarcia@hotmail.com

²Instituto de Investigaciones Sociales, UABC, Mexicali, México, oleyca@gmail.com

³Esc. de Ingeniería y Negocios, Guadalupe Victoria de la Universidad Autónoma de Baja California, Mexicali, B.C., México, anyvazquez@uabc.mx

RESUMEN

El aceite vegetal residual (AVR) 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 el erario público.

En la actualidad los AVR se han ido posicionando como un valioso insumo desde el punto de vista energético en el mercado, como es en la producción de biodiesel, generación de bioelectricidad y combustión directa en transportes. Asimismo es utilizado en la producción de jabón, lubricantes, así como en la alimentación para ganado. De esta manera se revalorizan dichos residuos, y se mitiga el impacto ambiental que conlleva su disposición inadecuada.

En el presente trabajo, se desarrolló un modelo dinámico en un software denominado Stella, para estimar el volumen de AVR que es generado anualmente por parte del sector restaurantero 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 y 2772.09 litros/restaurante/año. Posteriormente se describen y analizan las diversas aplicaciones que se le dan a los AVR en la ciudad. Por otra parte, se presentan y se exploran otros usos potenciales y alternativas para los mismos.

Palabras clave: Aceite vegetal residual, modelación dinámica, biodiesel, usos potenciales

1. INTRODUCCIÓN

Los AVR son aquellos aceites que han sido utilizados de manera continua o discontinua en procesos de preparación de alimentos, como consecuencia de ello, sus propiedades físico-químicas son alteradas dejando de ser óptimos para consumo humano [1]. Tradicionalmente eran considerados como residuos sin valor alguno, que solamente representaban una carga de tipo ambiental para sus generadores. Con el paso del tiempo han ido adquiriendo mayor relevancia debido a la posibilidad de reutilizarlos y revalorizarlos como fuente de materia prima en procesos para la elaboración de diversos productos. Por lo que se torna atractivo desde el punto de vista económico y ambiental.

1.1 Antecedentes

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 [x]. 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 [x].

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 estima la capacidad potencial de producción de biodiesel a partir de aceites vegetales y grasas residuales generados en el sector restaurantero. El estimado de generación per cápita anual de aceite que propone es de 8.97 kg [2].

1.2 Situación actual en Mexicali

La ciudad de Mexicali presenta una dinámica poblacional ascendente [Fig. 1], además de un PIB por encima del promedio nacional, lo que nos permite inferir que los volúmenes de generación de AVR tengan una tendencia hacia la alza. Por lo tanto, es necesario identificar la disposición que se lleva a cabo actualmente en la ciudad para dichos residuos, además de estimar los volúmenes que son generados, con el objetivo de mitigar su impacto ambiental y proponer esquemas en los cuales sea considerada su reutilización.

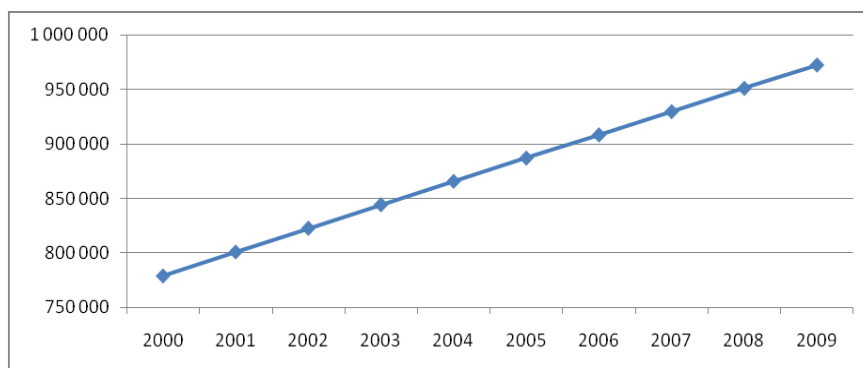


Figura 1. Dinámica crecimiento poblacional Mexicali 2000-2009 [3]

Debido a las grandes cantidades de AVR que son generadas anualmente, su disposición se ha convertido en un asunto problemático [4]. Los AVR al ser descargados en la red de alcantarillado sanitario o desagües provoca taponamientos, desbordamientos, problemas de olores,

proliferación de fauna nociva, impactos en la salud, además de la contaminación de cuerpos de agua, repercutiendo también en altos costos de mantenimiento.

De ahí surge la necesidad de estimar los volúmenes de AVR que son generados anualmente en la ciudad de Mexicali, particularmente el sector restaurantero. Es por ello que el presente estudio tiene como propuesta la elaboración de un modelo dinámico, que ayude a predecir el comportamiento de dicha generación para un periodo de 10 años.

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 están acuden para verter sus desechos.

1.3 Análisis de Precios de AVR

El precio promedio internacional del AVR se ha mantenido desde el 2007 hasta la fecha en aproximadamente 10 centavos de dólar por litro [4], 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 0.07 centavos hasta 0.30 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.

1.4 Usos potenciales de los AVR

Debido a las propiedades físicas y químicas de los AVR, estos pueden ser utilizados en diversos procesos que a continuación se enlistan:

- 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 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.

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 la calidad del 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.

El biodiesel puede ser utilizado directamente como combustible, requiriendo algunas modificaciones al motor diesel, o en mezclas con petrodiesel sin efectuar alteraciones [4].

A continuación se presentan diversas razones que justifican la reutilización de aceites vegetales residuales en la producción de biocombustibles [4] [6] [7]:

- Proviene de una fuente renovable.
- Representan una alternativa para disminuir los costos de producción, debido a que entre el 75-80% de los costos son atribuibles a la materia prima.
- 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.

El grupo de biocombustibles del Instituto de Ingeniería trabaja arduamente en esta línea de investigación, proponiendo la conversión de los AVR y grasas animales en biodiesel, para satisfacer la demanda energética de algún sector en particular.

En la ciudad de Tijuana ya es una realidad, la producción de biodiesel y su consumo por parte de la Comisión Estatal de Servicios Públicos de Tijuana (CESPT), 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 [8]

- Combustión 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 [9].

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.

Los aceites vegetales como combustibles presentan algunas desventajas. 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 [10]

- 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 [11]. La exergía química para el AVR es de 30 MJ/kg [10] aproximadamente, partiendo de la suposición de un flujo másico de 1 kg/hr, considerando una eficiencia de conversión a electricidad del orden de 30% [12], 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 [13]. 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 de hoy en día 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 [14]. 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 [14]. Existen algunos países en los cuales ya no es 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 eso se prohibió el uso de estos residuos con tales fines. En México, es permitido hacerlo, además se tiene conocimiento de que en Mexicali es una práctica común.

2. METODOLOGÍA

Se 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, para los años 2008-2017, el cual resulta esencial para poder determinar el potencial del aprovechamiento de esos residuos en algún proceso productivo. A continuación se reporta la metodología empleada, así como sus resultados.

Los datos utilizados para alimentar el modelo dinámico elaborado en el software Stella, fueron obtenidos a partir de un estudio que se desarrolló en el Instituto de Ingeniería por parte del grupo de biocombustibles, en el cual se dio seguimiento a una muestra representativa de restaurantes, donde el principal instrumento de levantamiento de información fue la encuesta, esto con el objetivo de estimar la generación de AVR para el año 2008, destacando una generación de 2.1 millones de litros anuales, con una generación per cápita de 2.1 litros/habitante y 1920 litros/restaurante.

Para la construcción del modelo, fue necesaria la identificación de las variables que están relacionadas en el comportamiento de la generación de los AVR. Con el fin de lograr, que el modelo fuera dinámico, se llevó a cabo mediante la dinámica poblacional municipal así como la dinámica del sector restaurantero, representada a partir de datos del PIB, extraído de un submodelo donde es calculado [15].

2.1 Variables consideradas en el modelo

- 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.
- Dinámica del sector restaurantero. Se considera el PIB del sector. Ya que la generación no solamente depende de la población, sino también de la situación económica que se esté viviendo.
- Número de establecimientos de preparación de alimentos.
- Tipos de cocinas. Clasificadas en base a: Rápida, Mexicana, China, Internacional, Japonesa, Mariscos e Italiana, debido a que son las más representativas.
- Demanda de aceites vegetales.
- Destinos de aceites vegetales residuales

3. RESULTADOS

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 con año, con ciertas variaciones, manteniéndose en un promedio de generación de 3 MM de litros (ver Figura 2)

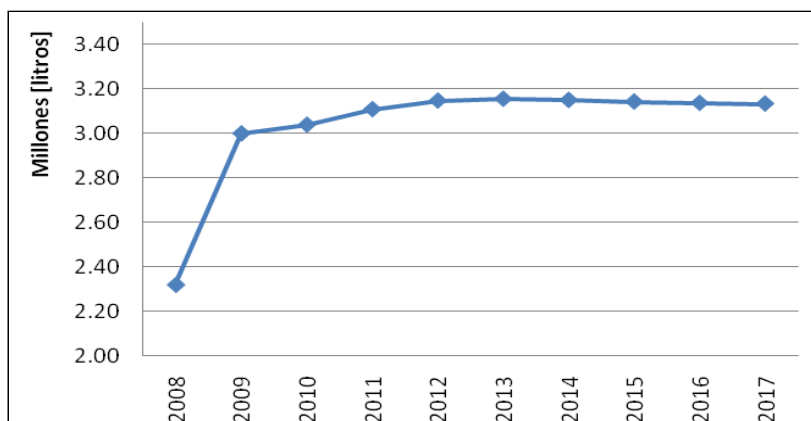


Figura 2. Volúmenes de AVR para el periodo 2008-2017

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.

Tabla 1. 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

4. APLICACIONES DEL MODELO

El modelo tiene diversas funcionalidades y bondades, ya que permite observar el comportamiento de la generación de AVR en el sector restaurantero así como sus destinos finales. Resulta esencial contar con lo anterior, para establecer esquemas ambientales con el objetivo de mejorar el monitoreo y control de descargas de AVR hacia la red de alcantarillado sanitario. Asimismo es de vital importancia al evaluar su reutilización en cualquier proceso productivo mencionado previamente para conocer la disponibilidad del recurso.

Es importante mencionar que una de las limitantes que se encontraron para desarrollar el modelo es la falta de información. Al llevar a cabo la investigación documental, no se encontraron estudios para la ciudad de Mexicali que aborden la problemática del presente trabajo. Por lo que sería recomendable, que se implementaran controles a los restaurantes por parte de las autoridades correspondientes, donde se monitoreara mediante bitácoras, para contar con información histórica, completa y precisa en lo que concierne a la generación de AVR y su disposición.

5. CONCLUSIONES

Como se ha visto, existe una gran diversidad de aplicaciones para la revalorización de los aceites vegetales residuales. Si se utilizan como insumo energético para la producción de biodiesel, bioelectricidad o combustión directa, se presentan como una alternativa para coadyuvar a la diversificación de la matriz energética de la ciudad, la cual en la actualidad se encuentra basada en combustibles fósiles convencionales. Asimismo ayudaría en la mitigación de impacto ambiental desde el punto de vista de reducción de emisiones de GEI (Gases de Efecto Invernadero), buscando mejorar la calidad de aire de la ciudad de Mexicali.

Por otra parte, no hay que dejar de lado otras aplicaciones potenciales existentes, que se podrían dar a los AVR, pero siempre buscando la opción óptima. Es necesario evitar el desaprovechamiento de estos recursos energéticos, ya que su reutilización, traería beneficios desde los enfoques económico, por su potencial en la generación de empleos, ambiental debido a que representa una alternativa para una disposición productiva potencialmente 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.

Resulta esencial llevar a cabo evaluaciones para conocer la factibilidad técnica y económica, con el objetivo de analizar e impulsar aquellos proyectos que arrojarían los mayores beneficios para la sociedad de Mexicali en general.

6. AGRADECIMIENTOS

Se agradece al CONACYT por la beca otorgada, para cursar el postgrado, al Instituto de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Baja California por todas las facilidades para llevar a cabo el presente proyecto, así como a todo el personal, y muy en especial a la Dra. Gisela Montero Alpírez por su dirección en la presente trabajo.

7. REFERENCIAS

1. Coronado, M., et al., *Modelación dinámica de residuos oleicos Caso de estudio: Sector Restaurantero, Mexicali, B.C, México*. II Simposio Iberoamericano de Residuos, 2009.
2. Alves, *Biodiesel como producto del reciclado de aceites vegetales usados*. 2006.
3. CONAPO, *Proyecciones de población para el municipio de Mexicali*. 2009: Mexicali.
4. Demirbas, A., *Political, economic and environmental impacts of biofuels: A review*. Applied Energy, 2009. **86**: p. 108-117.
5. ASTM, *American Standard for testing and materials*. ASTM D6751-08, 2008.
6. Canacki, M. and V. Gerpen, *Biodiesel Production from oils and fats with high free fatty acids*. American Society of Agricultural Engineers, 2001. **1429**.
7. Van Gerpen, J., et al., *Building a succesful biodiesel business*. Second Edition ed. 2006: Biodiesel Basics. 278.
8. CESPT. *CESPT Pionero en la utilización de biocombustibles ecológicos*. 2009 [consulta en 2009 14/11/09].
9. Chiras, D., *Environmental Sciences*. 8va. ed. 2009: Jones&Bartlett.
10. Talens, L., G. Villalba, and X. Gabarrell, *Exergy analysis applied to biodiesel production*. Resources Conservation & Recycling 2006: p. 397-407.
11. EPA. *Combined Heat and Power*. 2009 [consulta 2009 14/11/09]; Disponible en: <http://www.epa.gov/chp/basic/index.html>.
12. UNF. *Biomass Conversion Technologies*. [consulta 2009 14/11/09]; Disponible en: www.globalproblems-globalsolutions-files.org/.../UNF_Bioenergy_5.pdf.
13. Myers, G.E., *Chapter 7: Soap and detergents*. In *Inedible Meat By-Product*, ed. Pearson, A.E. Dutson, and T.R.E.S.A. Science. 1992, London & New York.
14. Kiepper, B., J. Governo, and H. Zacharias, *Characterization of the Generation, Handling and Treatment of Spent Fat, Oil, and Grease (FOG) from Georgia's Food Service Industry* 2001, University of Georgia: Athens, Georgia.
15. Camacho, O.L., *Transición hacia la sustentabilidad del desarrollo urbano de la ciudad - región de Mexicali 1990-2005*. 2007, El Colegio de la Frontera Norte: Tijuana, Baja California.