

**UNIVERSIDAD DE CHILE**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS**  
**ESCUELA DE AGRONOMÍA**

**Título**

**Viabilidad técnica y económica de la implementación de una planta de producción de biodiesel**

**Sebastián Iván Pedrero Quiñones**

**Santiago, Chile**  
**2008**

**UNIVERSIDAD DE CHILE**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS**  
**ESCUELA DE AGRONOMÍA**

**Título**

**Viabilidad técnica y económica de la implementación de una planta de producción de biodiesel**

**Technical and economical feasibility of a implementation of a biodiesel plant production**

**Sebastián Iván Pedrero Quiñones**

**Santiago, Chile**  
**2008**

**UNIVERSIDAD DE CHILE**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS**  
**ESCUELA DE AGRONOMÍA**

**Título**

**Viabilidad técnica y económica de la implementación de una planta de producción de biodiesel**

Memoria para optar al título profesional de:  
Ingeniero en Recursos Naturales Renovables

**Sebastián Iván Pedrero Quiñones**

	Calificaciones
<b>Profesores Guías</b>	
Pablo Morales Peillard	6,5
Ingeniero agrónomo, Ph. D	
Ricardo Marchant Silva	7,0
Ingeniero agrónomo, M. Sc	
<b>Profesores Evaluadores</b>	
Teresa Torres González	5,5
Profesora de Estado y Dra en Ciencias	
Maruja Cortés Belmar	5,5
Ingeniera agrónoma Dra (c)	
<b>Colaborador</b>	
Profesor Ian Homer Bannister	
Ingeniero agrónomo, Dr	

**Santiago, Chile**  
**2008**

## Índice

Resumen	7
Palabras claves	7
Abstract	8
Key words	8
1. Introducción	9
2. Biodiesel	11
2.1 Definición de biodiesel	11
Ventajas en el uso de biodiesel	11
Desventajas en el uso de biodiesel	12
2.2 Producción mundial de biodiesel	12
Principales productores	13
2.3 Consumo mundial de biodiesel	15
2.4 Precios	18
Mercado Europeo	18
Mercado de EE.UU.	19
2.5 Marco legal	20
Unión Europea	20
EE.UU.	20
Brasil y Argentina	21
2.6 Situación Nacional del mercado de Biocombustibles	22
Marco legal	22
3. Estudio de la factibilidad técnica y económica	24
3.1 Aspectos técnicos en la producción de biodiesel	24
Características del catalizador utilizado	26
Características del alcohol utilizado	26
Características del aceite a usar	27
Obtención de glicerina	28
Materias primas usadas en la producción de biodiesel	29
Obtención de aceites	29
Aceites refinados	29
Aceites reciclados	30
Obtención de los componentes del proceso	32
Catalizador	32
Alcohol	34

Producción Industrial	36
Proceso general de transesterificación	36
Infraestructura necesaria	41
Tecnología necesaria	42
Obtención de glicerina en el proceso seleccionado	46
3.2 Aspectos económicos en la producción de biodiesel	47
Antecedentes en la producción de combustibles en Chile	47
Precios	49
Formula de precios	50
3.3 Determinación de escenarios de evaluación	51
Costos del proyecto	52
Costos fijos	52
Costos variables	52
Primer escenario	53
Segundo escenario	54
Inversión inicial	55
Capital de trabajo	56
Personal necesario	56
Localización de la industria	57
Depreciaciones	58
Ingresos	59
3.4 Evaluación financiera	60
Horizonte de evaluación	60
Tasa de descuento	60
Tasa de impuesto	61
Tipo de cambio	61
3.5 Criterios de evaluación	61
3.6 Resultados	62
Conclusiones del flujo	65
Flujo de caja escenario 1	66
Flujo de caja escenario 2	68

Sensibilización	70
3.7 Evaluación social de proyectos	70
4. Conclusiones	72
5. Bibliografía	74
6. Anexos	76

## Resumen

En el último tiempo el abastecimiento energético en un país netamente importador de energía como es Chile, ha provocado que la búsqueda de alternativas para la diversificación de la matriz energética sea un desafío de vital importancia para asegurar un desarrollo sostenible y contribuir a la mitigación de los impactos del cambio climático.

Los biocombustibles, entre los cuales destaca el biodiesel, se perfilan como unas de las alternativas que permitirían a nuestro país reducir la dependencia del petróleo importado y reducir las emisiones de gases con efecto invernadero. Si bien algunas experiencias a nivel nacional han confirmado de manera preliminar la posibilidad de producir biodiesel desde el punto de vista técnico, no se cuenta con estudios que permitan determinar la viabilidad económica de producirlo.

La presente memoria tiene como finalidad determinar la viabilidad técnica y económica de la instalación de una planta de producción de Biodiesel de tamaño medio en Chile. Específicamente se pretende estudiar alternativas de producir biodiesel en el país. Se evaluó un primer escenario que considera la utilización de aceite de raps como materia prima, mientras que el segundo escenario contempla la utilización de aceites reciclados de fritura. Se analizó la capacidad técnica para producir dicho combustible y las condiciones de mercado, además de realizar una evaluación financiera de ambos. Para esto se utilizó la metodología de evaluación de proyectos propuesta por Sapag y Sapag (1996)

Los resultados son positivos en lo que respecta a los dos principales aspectos a evaluar. Por un lado se consideró que existen las capacidades técnicas para lograr desarrollar el proyecto y desde el punto de vista económico y financiero, la producción de biodiesel es rentable en ambos escenarios. En el primer escenario los valores fueron: VAN: \$83.005.443; TIR: 22,7%. Mientras que en el segundo escenario los valores fueron: VAN: \$263.744.554; TIR: 44%.

Cabe también señalar que el periodo de retorno de la inversión en el primer escenario fue de siete años y mientras que para el segundo año la inversión se recupera en su totalidad luego del tercer periodo. Por otra parte ambos escenarios presentaron valores sobre 1 en los parámetros usado de la razón costo beneficio. Esto quiere decir que en ambos escenarios los valores de los ingresos son mayores a los costos del proyecto.

No obstante lo anterior, se debe tener en cuenta que las alternativas fueron evaluadas bajo las condiciones del mercado en el momento de realizar el proyecto, por lo que es recomendable un seguimiento para determinar nuevas condiciones que modifiquen lo realizado en esta memoria.

**Palabras clave:** Biodiesel, aceite de raps, aceite reciclado, evaluación financiera.

**Abstract**

During the last time energy supply in a country mainly importer of energy as Chile, has led the search of alternatives for diversification of the energy matrix. This is a challenge of vital importance in ensuring sustainable development and to contribute to the alleviation the impacts of climate change

Biofuels, including biodiesel, are emerging as some of the alternatives that would enable our country to reduce dependence on imported oil and to reduce emissions of greenhouse gases. While some experience at the national level have confirmed in a preliminary way the possibility of producing biodiesel from the technical point of view, there are no studies to determine the economic feasibility of producing it.

This report is intended to determine the technical and economic feasibility of installing a biodiesel production plant of medium size in Chile. Specifically seeks to explore alternatives to produce biodiesel in the country. We evaluated a first scenario that considers the use of rapeseed oil as a raw material, while the second scenario considers the use of recycled frying oil.

We analyzed the technical capacity to produce the fuel and market conditions, in addition to a financial evaluation of both scenarios. For this, we used the methodology for evaluating projects proposed by Sapag and Sapag (1996)

The results are positive with regards to the two aspects evaluated. On one hand it was found that there are technical capabilities to achieve and develop the project from an economic financial point of view and that the production of biodiesel is profitable in both scenarios. In the first scenario, the figures were: VAN: \$ 83,005,443; IRR: 22.7%. While in the second scenario the figures were: VAN: \$ 263,744,554; IRR 44%. It is also worth noting that the period of return on investment in the first stage was for seven years, while for the second year investment is recovered in its entirety after the third period.

In spite of these results, it should be kept in mind that the alternatives were evaluated under the market conditions at the time of the project, so it is best to follow up them to determine new conditions that could modify what has been done in this report.

**Key words: Biodiesel, rapeseed oil, recycled food oil, financial evaluation.**



## 1 Introducción

El desarrollo industrial global alcanzado durante el siglo pasado se sustenta básicamente en el consumo del petróleo como fuente energética. La dependencia es tal que en los próximos 20 años se estima que la humanidad consumirá en petróleo el equivalente a lo consumido desde su descubrimiento hasta el día de hoy. (Agencia Internacional de Energía, IEA, 2006) La amenaza actual a este crecimiento esta determinada por la disminución de la inversión en prospección y nuevas refinerías, en contraposición con la demanda creciente mundial. Según la Agencia Internacional de Energía (IEA, 2007) la situación se resume en dos puntos

1.-La capacidad ociosa de la industria petrolera es muy pequeña: debido a la alta demanda mundial de energía es que la explotación de petróleo esta funcionando con altos estándares de tecnología que le permiten extraer yacimientos que antiguamente no estaban disponibles, por lo que se puede considerar que la industria petrolera esta trabajando al tope de sus capacidades.

2.-Amenazas en la seguridad de abastecimiento energético, tanto por el lado de los productores como de los consumidores, ya que el transporte y la distribución de combustibles se ven continuamente amenazada por trabas políticas y financieras, debido a problemas entre las relaciones de las naciones.

Además de la amenaza real de un posible desabastecimiento mundial debido a múltiples motivos, existe la gran dificultad de las consecuencias del uso mundial de combustibles fósiles, ya que debido a la gran dependencia de esta fuente energética la cantidad de carbono en la atmósfera ha aumentado lo que a su vez incrementa la cantidad del CO<sub>2</sub> en la atmósfera. Se sabe que el CO<sub>2</sub> es el responsable del 50% del efecto invernadero, por lo que a pesar de que no esta totalmente comprobado y aun existe una gran controversia científica internacional, se puede afirmar que el uso de combustibles fósiles podría producir un aumento en la temperatura global debido al fenómeno natural del efecto invernadero, intensificado por las emisiones a la atmósfera de CO<sub>2</sub>. Este aumento de la temperatura se estima que podría ser entre 1,5 y 4,5 °C en los próximos 20 años (Acevedo E., 2007). Las consecuencias de este aumento de temperatura aun son inciertas, sin embargo no cabe duda de que modificara de manera importante y gradual el clima global.

En este aspecto, los combustibles fósiles contribuyen aproximadamente un 40% al efecto invernadero (Acevedo E., 2007), por lo tanto, encontrar alternativas para remplazar estos combustibles fósiles lograría disminuir de manera importante tanto la contaminación, como la emisión de gases de efecto invernadero, lo que eventualmente significaría un aporte en la lucha contra el calentamiento global.

Por otra parte la necesidad de un desarrollo sustentable lleva necesariamente a la búsqueda de alternativas para los combustibles fósiles. Dentro de estas alternativas existen el etanol y el biodiesel, los cuales son biocarburantes de origen vegetal de similares características a los combustibles actuales. Estos biocombustibles se pueden dividir según el tipo de motor, siendo el etanol ocupado generalmente en los motores de encendido por chispa (ciclo Otto) y el biodiesel usado en los motores de encendido por compresión (ciclo Diesel), sin

embargo se puede utilizar con ciertas condiciones especiales el etanol en motores diesel. (IEA, 2007)

El etanol es un biocombustible líquido que corresponde a alcohol etílico producido a partir de maíz, sorgo, papa, trigo, caña de azúcar, desechos de cultivos e incluso de biomasa de tallos de maíz y residuos vegetales. Básicamente el proceso de producción corresponde a la fermentación de los azúcares presentes en la materia prima a usar para obtener el alcohol, el cual puede ser utilizado como mezcla en los vehículos o en forma pura, en la que sin embargo, necesita modificación de los motores de los vehículos actuales si los porcentajes de mezcla superan el 15%. (Acevedo E., 2006)

Dentro del ámbito nacional podemos mencionar que es necesario diversificar la matriz energética, principalmente en lo que se refiere al uso de combustibles para vehículos, sin embargo no se puede iniciar la producción o el uso de algún combustible que aún no hayamos probado dentro de la realidad nacional. Por lo que es imprescindible que se determine si escenario nacional esta preparado para la adopción de este nuevo elemento tan poco estudiado como el de los biocombustibles.

El presente proyecto de memoria pretende contribuir a la búsqueda de alternativas energéticas evaluando la posibilidad de producir biodiesel a partir de distintas materias primas.

Así, es necesario establecerse la siguiente hipótesis:

Dadas las condiciones actuales, tanto económicas, políticas, energéticas y ambientales, ¿es factible técnica y económicamente la instalación de una planta de producción de biodiesel?

Para determinar su factibilidad es necesario cumplir los siguientes objetivos

#### **Objetivo general**

Determinar la viabilidad técnica y económica de la instalación de una planta de producción de Biodiesel de tamaño medio en Chile.

#### **Objetivos específicos**

- Analizar el mercado internacional del biodiesel
- Analizar los aspectos técnicos de la producción de biodiesel.
- Analizar los aspectos económicos de la producción de biodiesel.
- Evaluar técnica y financieramente la instalación de una planta de producción de biodiesel utilizando distintas alternativas de materias primas.

## **2 Biodiesel**

### **2.1 Definición de biodiesel**

El biodiesel es un combustible líquido producido a partir de los aceites vegetales y grasas animales, siendo el girasol, el raps y la soja las materias primas más utilizadas para este fin. Además es posible utilizar aceites de desechos para la producción de biodiesel, los cuales son conocidos como biodiesel de tercera generación. Si bien la idea de usar aceites vegetales no es nueva, ya que fue Rudolf Diesel quien usó (en el desarrollo del motor que lleva su nombre) aceite de maní por el año 1939, es solo en las últimas décadas en las que se le está dando importancia al uso de este tipo de combustibles conocido como biocombustibles. Esto debido principalmente a que las tecnologías y procedimientos siempre fueron más costosos que la obtención de petróleo. (IEA, 2007)

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

En cuanto a la utilización del biodiesel como combustible de automóviles, ha de señalarse que las características de los ésteres son más parecidas a las del diesel que las del aceite vegetal sin modificar. La viscosidad del éster es dos veces superior a la del gasóleo frente a diez veces ó más de la del aceite crudo; además el índice de cetano de los ésteres es superior, siendo los valores adecuados para su uso como combustible. ASTM ha especificado distintas pruebas que se deben realizar a los combustibles para asegurar su correcto funcionamiento (ASTM, 2003).

#### Ventajas del uso de biodiesel

Dentro de las ventajas que presenta el uso de biodiesel en automoción se puede considerar que es renovable si se maneja correctamente la producción, es biodegradable ya que no presenta residuos prolongados en los sistemas naturales, reduce significativamente las emisiones de material particulado e hidrocarburos, se sabe que este tipo de emisiones en altas concentraciones es nocivo para la salud humana. (Acevedo E., 2006)

Actualmente se usan aditivos, con azufre entre sus componentes, que mejoran la lubricidad del combustible, por lo que un posible reemplazo de combustibles convencionales con biodiesel, reduciría las emisiones de azufre que actualmente presentan los combustibles

convencionales para mejorar la lubricación de los motores. Además el biodiesel mejora la lubricación de los motores en hasta un 65% sin la necesidad de los aditivos con azufre, por esta razón es que países europeos plantean la utilización de biodiesel como aditivo. Dentro de otras características tecnológicas se encuentra que no es necesario modificar los motores diesel si el biodiesel se usa en porcentajes hasta de un 20% en la mezcla, de ocuparse en mayor cantidad es necesario cambiar ciertos componentes del motor que son degradados o ablandados por el biodiesel y que es incompatible con algunos metales (Cu, Zn) o plásticos. Bajo este mismo punto de vista es que se tiene que el biodiesel puede ocupar la misma infraestructura existente en el uso del diesel convencional. (Acevedo E., 2006)

### Desventajas del uso de biodiesel

El emitido en mayor cantidad es el NO, pero sufre una rápida oxidación a NO<sub>2</sub>, siendo este el que predomina en la atmósfera. NO<sub>x</sub> tiene una vida corta y se oxida rápidamente a NO<sub>3</sub><sup>-</sup> en forma de aerosol o a HNO<sub>3</sub> (ácido nítrico). Tiene una gran trascendencia en la formación del smog fotoquímico, del nitrato de peroxiacetilo (PAN) e influye en las reacciones de formación y destrucción del ozono, tanto troposférico como estratosférico, así como en el fenómeno de la lluvia ácida. En concentraciones altas produce daños a la salud y a las plantas y corroe tejidos y materiales diversos. (ASTM, 2003)

Un punto importante en contra es que si bien el biodiesel disminuye notablemente las emisiones de CO<sub>2</sub>, gas de efecto invernadero, si aumenta la emisión de óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), los cuales son también considerados gases de efecto invernadero. Los óxidos de nitrógeno son liberados al aire desde el escape de vehículos motorizados, de la combustión del carbón, petróleo, o gas natural, y durante procesos tales como la soldadura al arco, galvanoplastia, grabado de metales y detonación de dinamita. También son producidos comercialmente al hacer reaccionar el ácido nítrico con metales o con celulosa. (Acevedo E., 2006)

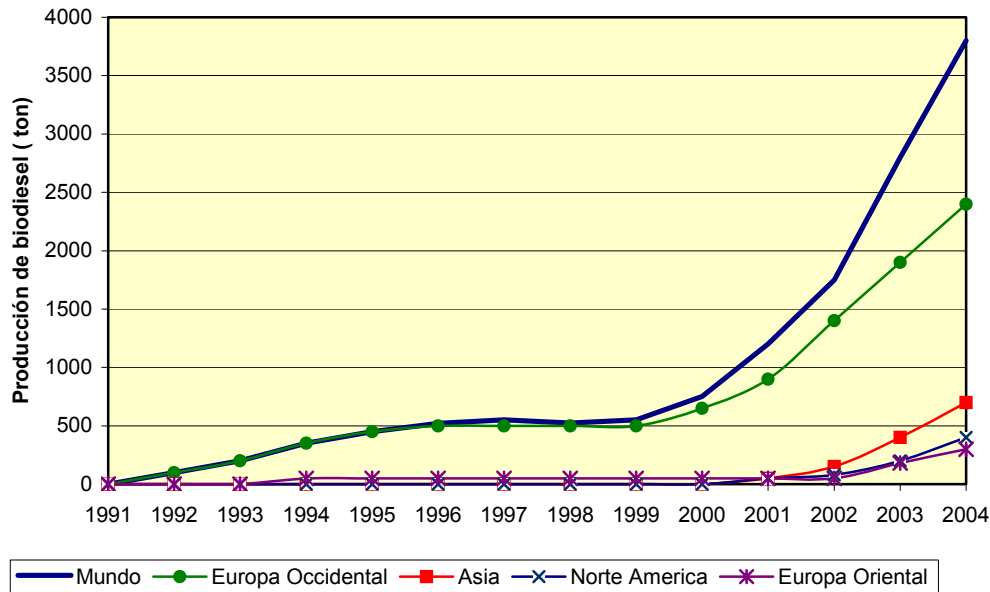
Dependiendo de la cantidad de biodiesel que se ocupe en mezcla(o puro) es la cantidad de aumento de emisión de NO<sub>x</sub>, así si se ocupa un 20% en la mezcla (B20) el aumento es del orden de un 2-3 % de NO<sub>x</sub> emitido. Pero si se usa biodiesel puro (B100) puede aumentar un 10% en comparación a las emisiones del diesel. Desde este punto de vista es más recomendable la producción de biodiesel destinado comercializarlo como mezcla en un porcentaje de 20%, ya que de esta forma se disminuye el principal punto negativo del biodiesel a la vez que no hace necesario modificar en nada los vehículos e infraestructura para el diesel existentes, incluso mejorando la lubricación y disminuyendo las emisiones contaminantes. (ASTM, 2003)

## 2.2 Producción mundial biodiesel

La producción mundial de biodiesel a tenido un sostenido aumento en las últimas dos décadas, sin embargo es en los últimos diez años que la producción se incrementó fuertemente alcanzando niveles de producción mundial cercanos a los 4 millones de

toneladas anuales (lo que significa cerca de 4 mil millones de litros anuales), tal como se muestra en la siguiente figura.

Figura 1: Producción mundial de biodiesel de los últimos 15 años.



Fuente: Basiron, Y; Choo, Y.M., MPOB (2004), citado por Mónica Cuellar ,2005.

En el 2005, los países de la Unión Europea debían estar usando por lo menos un 2% de combustibles renovables, sin embargo hoy en día ya se produce cerca de 2,5 mil millones de litros por año de biodiesel, con una tasa anual de crecimiento del 30% entre 1998 y 2002.

### Principales países productores

Alemania es el mayor productor del mundo de biodiesel, con una capacidad de producción en la actualidad de 1920 millones de litros anuales. Dicho país es aún el responsable de más de la mitad de la producción total de la Unión Europea de biocombustibles y cuenta con centenares de puestos en los que se vende el biodiesel puro (B100) con la total garantía de las empresas fabricantes de automóviles. La venta se ve favorecida también debido a que existe total exención de impuestos en toda la cadena productiva del biodiesel. En este país lo que más se utiliza como materia prima es el cultivo de raps canola, utilizándose

minoritariamente otros cultivos como maravilla y soya (Union zur Förderung von Oel-und Proteinpflanzen, la cual es la unión de productores de biodiesel y productores de aceites vegetales, UFOP. 2007).

Francia es el segundo mayor productor, con una capacidad cercana a los 557 millones de litros anuales. El principal motivo que tubo el país para optar por el desarrollo de este combustible es la reducción de las emisiones en los motores de los vehículos, debido a la importancia de disminuir la contaminación en los centros urbanos más poblados y de cumplir los tratados internacionales en relación con la disminución de emisión de gases de efecto invernadero.

Cruzando el atlántico encontramos al tercer productor mundial de biodiesel, Estados Unidos, país en el cual actualmente se producen cerca de 290 millones de litros anuales. En dicha nación desde el año 2002 es obligatorio en los estados de Minesota y Carolina del Norte realizar mezcla de combustible fósil con un 2% de biodiesel, lo que demuestra la creciente preocupación de EE.UU. por buscar alternativas a los combustibles fósiles. Las estrategias se basan en la de fomentar la producción a través de pequeños productores a nivel local, sin destinar grandes cantidades de terreno a la producción de especies oleaginosas que permitan la producción de biocombustibles. Sin embargo, en la actualidad ya existe un total de 86 plantas en todo el país que producen biodiesel, abasteciéndose en las materias primas de los pequeños productores. A diferencia de lo que ocurre con Alemania, en EE.UU. lo que mayoritariamente (cerca al 90% de los productores) se ocupa como materia prima es aceite de soya (EIA, Enviroment information administration, 2007).

En Latinoamérica las naciones que presentan un mayor avance en materia de biocombustibles son Brasil y Argentina. Argentina por una parte ya determinó la eliminación de cualquier impuesto específico para el biodiesel por un periodo de diez años demostrando de esta forma el compromiso del país trasandino de diversificar la matriz energética de su nación. Posee un desarrollo importante en la tecnología necesaria para la producción y presenta un número importante de proyectos (8 plantas) para la instalación de plantas de producción, sobre todo en las provincias del interior del país, sin embargo la calidad del combustible logrado no posee aún los estándares internacionales por lo que es necesario mejorar las políticas de fiscalización e incentivos para aumentar la competencia en un mercado naciente. Las principales materias primas usadas son el aceite de soya y el de girasol. (Ministerio de agricultura de Argentina, 2006)

Brasil, por otra parte, centra la mayor parte de sus esfuerzos en la producción de etanol, combustible del que es junto con EE.UU. los mayores productores mundiales, debido principalmente a la gran capacidad de producción de caña de azúcar. Sin embargo su producción, nivel de estrategias y políticas se han creado en conjunto para la producción de cualquier tipo de biocombustible, por lo que existen todos los incentivos y disposiciones para el emprendimiento en biodiesel. Fue así como en 2005 se creó la primera planta de biodiesel en Brasil. A la fecha ya existe autorizadas 6 plantas en distintas partes del país, con lo que se pretende lograr mezclar cada litro de diesel con un 2% de biodiesel. La base del plan nacional es el trabajo cultivando con pequeños productores a través de todo el país para así también ayudar a combatir la pobreza.

Brasil posee condiciones de clima y suelo favorables para la producción de una amplia gama de especies oleaginosas. Algunas de estas especies son de ocurrencia nativa (babaçu, mamona, buriti, etc.), otras de cultivo de ciclo corto (soja, maní, etc.), y otras de ciclo largo o perenne (dendê). Cada región brasileña presenta características particulares en función de sus climas y sus vegetaciones nativas que favorecen el desarrollo de determinados cultivos. Actualmente la soja concentra alrededor del 95% de la producción brasileña de oleaginosas y el 90% de la de aceites vegetales, siguiéndole el algodón en orden de importancia (Ministerio de Energía de Brasil)

### **2.3 Consumo mundial de biodiesel**

En relación al consumo, se puede apreciar claramente un aumento mundial sostenido en lo que se refiere al uso de los biocombustibles. En el caso del biodiesel, es Alemania el mercado que se encuentra más maduro a nivel mundial. En dicha nación existe la UFOP (union zur förderung von oel-und proteinpflanzen) la cual es la unión de productores de biodiesel y productores de aceites vegetales que se usan como materias primas para los biocombustibles. Esta asociación busca promover el uso de combustibles producidos a partir de aceites vegetales y la vez que es la entidad que reúne a los productores agrícolas alemanes de plantas oleaginosas. Según información en la página web de la UFOP existen principalmente tres formas de comercialización del biodiesel, a través de uno de los cerca de 2000 puntos de venta de biodiesel puro (B100), como mezcla en el diesel convencional y finalmente venta directa a grandes flotas de vehículos comerciales. Según el documento “Biodiesel in Germany 2006: Market Trends and Competition”, hacia el final del presente año 2007 Alemania producirá un total cercano a los 4,5 millones de toneladas de biodiesel lo que comparado a los 256.000 toneladas producidas en el año 2000 demuestran el gran aumento que ha tenido dicho mercado. Teniendo dicho valores como referencia la entidad estima que para el año 2008 se abarcará un 12% del total del consumo de diesel.

Dicho documento menciona que durante el año 2006 se vendieron un total de 1,3 millones de toneladas de biodiesel puro directamente ya sea a grandes consumidores (empresas transportistas) como al público, a través de las estaciones de venta.

En relación al resto de Europa, el consumo aún no alcanza niveles parecidos a los del mercado alemán, sin embargo la mayoría de las naciones incluidas en la Unión Europea presentan producción y la vez consumo de biocombustibles. Debido a la falta de información directa es que se resumió en el siguiente cuadro el porcentaje usado de biocombustibles por cada nación en relación al total de consumo de combustibles fósiles.

Cuadro 1: Porcentaje de utilización de biocombustibles de los países miembros de la Comunidad Europea

Estado Miembro	Porcentaje Biocombustibles (%)		
	2003	2004	2005
Alemania	1,21	1,72	3,75
Austria	0,6	0,6	0,96
Bélgica	0	0	0
Chipre	0	0	0
Republica Checa	1,09	1	0,05
Dinamarca	0	0	sin datos
Eslovaquia	0,14	0,15	sin datos
Eslovenia	0	0,06	0,35
Estonia	0	0	0
España	0,35	0,38	0,44
Finlandia	0,11	0,11	sin datos
Francia	0,67	0,67	0,97
Grecia	0	0	sin datos
Holanda	0,3	0,1	0,2
Hungría	0	0	0,07
Irlanda	0	0	0,05
Italia	0,5	0,5	0,51
Letonia	0,22	0,07	0,33
Lituania	0	0,02	0,72
Luxemburgo	0	0,02	0,02
Malta	0,02	0,1	0,52
Polonia	0,49	0,3	0,48
Portugal	0	0	0
Reino Unido	0,026	0,04	0,18
Suecia	1,32	2,28	2,23
<b>EU25</b>	<b>0,5</b>	<b>0,7</b>	<b>1</b>

Fuente: Report on the progress made in the use of biofuels and other renewable fuels in the Member States of the European Union. COMMISSION OF THE EUROPEAN COMMUNITIES. Bruselas, 10/1/2007

El cuadro anterior expone claramente que existe interés por las naciones europeas de incluir dentro de sus matrices energéticas, combustibles líquidos alternativas a los combustibles fósiles. Sin embargo se aprecia que aún no representa (a excepción de Alemania) un volumen importante dentro del consumo de combustibles. Sin desmedro de lo logrado hasta ahora, se pretende llegar a un nivel de consumo uniforme en la Unión Europea, en la cual por lo menos, presentar para el año 2010 un consumo superior a un 7%.

Por otra parte en Estados Unidos de Norteamérica también se a incrementado considerablemente su producción y consumo de biocombustibles. Las principales razones



según la EIA (*Energy Information Administration*) dependiente del *Energy Department*, la entidad gubernamental encargada del tema energético en EE.UU.:

En primer lugar el aumento se debe al continuo reemplazo del metil tetra butil eter (MTBE) por el etanol como aditivo para los combustibles. Segundo se debe también a la fuerte demanda mundial del petróleo crudo, así como de las continuas alzas de los precios de dicho combustible. La tercera razón del aumento son las leyes federales de incentivos, de los cuales el más importante es el crédito de 51 centavos de dólar por cada galón de etanol incluso usado como mezcla. Y finalmente se debe al acta de la política energética del año 2005 en la cual se estipula una producción para el año 2012 de 7,5 billones de galones, siendo que la producción de etanol en el año 2006 fue de 4,6 billones de galones.

Cuadro 2: Consumo de biocombustibles en EE.UU.

Consumo de biocombustibles por sector(cuadrillones de BTU)					
Sector	Periodo				
	2002	2003	2004	2005	2006
Comercial	Sin datos	0,001	0,001	0,001	0,001
Industrial	0,136	0,178	0,217	0,249	0,309
Transporte	0,172	0,235	0,295	0,345	0,448
Total	0,309	0,414	0,513	0,594	0,758

Fuente: EIA ( Energy Information Administration). [www.eia.doe.gov](http://www.eia.doe.gov)

En lo que se refiere al consumo de biocombustibles en Brasil es importante mencionar un punto en el cual refleja el nivel de consumo de etanol en particular, actualmente en Brasil un 40.8% del total de los vehículos (motores ciclo Otto) usan etanol, incluso el máximo histórico alcanzo un 56,9% en el año 1988. Esto se debe a que desde 1975 el gobierno comenzó a estimular la producción de etanol aprovechando las grandes plantaciones de caña de azúcar que existen en dicha nación, eso como una manera de promover la independencia del mercado de petróleo, y a la vez crear nuevos empleos en el rubro agrícola. A través de los años el consumo de etanol en Brasil ha tenido grandes fluctuaciones debido principalmente a problemas con la materia prima, la caña de azúcar. Sin embargo en la actualidad se están alcanzando niveles de consumo similares a los logrados décadas atrás e incluso se proyectó que para el año 2010 se superaran dichos valores llegando a los 18,2 millones de m<sup>3</sup> y seguirán en aumento (Petrobras, 2006. citado por el ministerio de agricultura brasileño, disponible en <http://www.agricultura.gov.br>).

Cuadro 3: Consumo de etanol en Brasil.

Periodo	Producción (millones de m3)
97/98	15,4
98/99	13,9
99/00	13
00/01	10,6
01/02	11,5
02/03	12,6
03/04	14,7

Fuente: UNICA (Uniao da Agroindústria Canavieira de Sao Paulo)

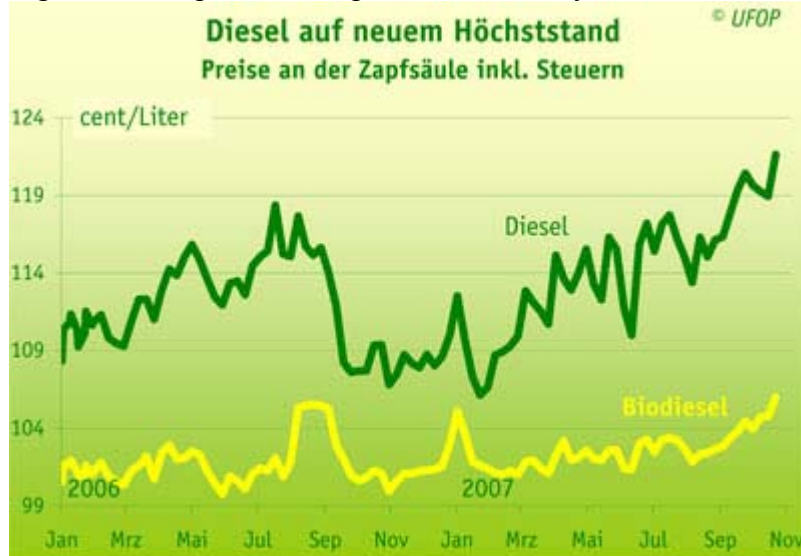
Por otra parte el consumo de biodiesel en Brasil todavía es incipiente, ya que sólo a partir del año 2004 el gobierno brasileño permitió la mezcla de un 2% con el diesel en los combustibles para vehículos. Este biodiesel esta hecho principalmente de aceite de soya. Se pretende que para el año 2013 la mezcla sea obligatoria en un 5%.

## 2.4 Precios

### Mercado Europeo

Debido a que los mercados europeos no están tan desarrollados en relación a la comercialización de biocombustibles, es que no se logro obtener información oficial o por lo menos de fuentes que fueran fidedignas. Sin embargo si se logro obtener valores de precios del mercado Alemán en lo que se refiere al biodiesel. Como referencia para el presente proyecto, se tiene que el precio del biodiesel para el mes de octubre del año 2007 es de 106,01 centavos de euro por litro. En el siguiente cuadro extraído de la página web de la UFOP, se puede apreciar la variación del precio del biocombustible, durante el año 2006 y el año 2007. En forma anexa se compara en el mismo cuadro con el precio del diesel en dicha nación.

Figura 2: Comparación de precios de diesel y biodiesel en Alemania.



Fuente: UFOP ([www.ufop.de/1299.php](http://www.ufop.de/1299.php))

El título del gráfico significa “Diesel nuevamente en un punto alto, precios y su variación”. Para poder establecer una real comparación se usará el valor del euro para el mes de octubre de 2007 cuyo valor es de \$712,02. Por lo que el valor del litro de biodiesel sería de \$754,82.

Según el gráfico obtenido del mercado alemán se puede apreciar de que a pesar de que presenta fluctuaciones en los dos años que se presentan, el precio es mucho más estable que los precios que presenta el diesel convencional, los cuales además se presentan con un alza sostenida en el tiempo.

Mercado de EE.UU.

Los precios en EE.UU. son los siguientes:

Cuadro 4: Precios de biocombustible en el mercado de EE.UU.

Combustible	Fecha Reporte									
	Dic-03	Mar-04	Jun-04	Nov-04	Mar-05	Feb-06	Jun-06	Oct-06	Mar-07	
Etanol	1,86	1,84	2,28	2,3	2,29	1,98	2,43	2,11	2,1	
Biodiesel(B2-B5)						2,46	2,97	2,75	2,6	
Biodiesel(B20)	1,71	1,76	2,06	2,24	2,3	2,64	2,92	2,66	2,53	
Biodiesel(B99-B100)						3,23	3,76	3,31	3,31	

Fuente: EERE. [www.eere.energy.gov](http://www.eere.energy.gov)

Los precios obtenidos de la agencia Norteamericana se encuentran en dólares por galón. Un galon corresponde a 3,7854 litros, y usando el valor del dólar del 22/06/07

correspondiente a \$525,41 se tiene que el precio estimado por litro de biodiesel puro (B100) en E.E.U.U. es de \$459,42 por litro.

Si bien se puede considerar que los precios presentan fluctuaciones, debido principalmente a la estacionalidad de las materias primas, se logra apreciar una leve tendencia al alza de los valores transados en el mercado estadounidense, principalmente en lo que se refiere al B20 (20% de biodiesel en la mezcla), ya que esta mezcla es la que se comercializa en mayores volúmenes con respecto a las otras o al biodiesel puro.

## 2.5 Marco legal

### Unión Europea

La Unión Europea como un organismo unificado presenta un marco legal establecido para promover el uso de combustibles alternativos, específicamente en el caso de los biocombustibles existe la Directiva 20/2003 del Consejo Europeo el cual se establece la obligatoriedad desde 2010 de reemplazar en un mínimo de 5,75% los combustibles convencionales con biocombustibles, esto acompañado con la disminución de las tasas de impuestos para biocombustibles establecidos en la Directiva 96/2003 del Consejo Europeo. (UFOP, 2007)

Sin embargo, es necesario hacer una diferencia en lo que respecta a Alemania con el resto de Europa. Esto debido a lo adelantado que se encuentra el mercado Alemán en producción, consumo e incentivos. Anteriormente regía en Alemania la ley del petróleo la cual eximía al biodiesel de pagar impuesto, sin embargo actualmente en Alemania existe desde agosto del año 2006 legislación que impone impuestos a los biocombustibles gradualmente, de esta forma se estimula la producción de biocombustibles, pero a la vez, debido al tamaño alcanzado por el mercado, se regula y el estado obtiene beneficios de este negocio actualmente tan rentable en dicha nación.

También existe dentro de la legislación, una normativa que está referida a la obligación de mezclar biocombustibles con combustibles de origen fósil a una determinada tasa ó cuota a través del tiempo, esta cuota está referida en términos de contenido de energía y no de volumen. Esta ley entrará en vigencia a partir del presente año 2007 y también afecta a los biocombustibles puros, los cuáles deberán pagar el impuesto completo correspondiente a la cuota que posean, en términos de volumen, para el determinado período.

### EE.UU.

Las especificaciones técnicas que debe cumplir el biodiesel en Estados Unidos para ser comercializado están referidas a los estándares de calidad de ASTM internacional norma D 6751. La EERE es el programa de eficiencia energética y energía renovable (siglas en inglés) dependiente del *Energy Department*, y es la entidad encargada de la investigación y promoción de los combustibles alternativos. Estos estándares son los reconocidos por las entidades gubernamentales y estados del país. Cuando el biodiesel viene como combustible

o aditivo, debe ser registrado en la *U.S. Environmental Protection Agency* (EPA) para ser comercializado legalmente. (EERE, 2006)

El incentivo más importante para el biodiesel en Estados Unidos es el *Biodiesel tax credit*, decretado en la *American Jobs Creation Act of 2004*, ley que creó el *Volumetric Ethanol Excise Tax Credit* (VEETC) y que la *Energy Policy Act of 2005* extendió hasta el 31 de Diciembre del 2008. Éste crédito consiste en:

1) 1 dólar por galón si el biodiesel fue hecho a partir de aceites vírgenes derivados de materias agrícolas y de grasas animales.

2) 50 centavos por galón si el biodiesel fue hecho a partir de otras materias primas (Ej. aceites no vírgenes)

A pesar del incentivo antes mencionado, existen una gran cantidad de incentivos a niveles estatales, los cuales promueven tanto la producción agrícola con fines energéticos, como la producción propiamente tal de biocombustibles. Estos incentivos varían de estado a estado, promoviendo los combustibles renovables la cual es la misión central de la EERE.

## Brasil y Argentina

En el caso de Brasil la legislación actual del etanol corresponde a la misma que para los combustibles fósiles debido a lo maduro del mercado, existen sin embargo incentivos y excepciones legales para la producción de caña de azúcar.

Por otra parte al ser el biodiesel un combustible naciente en la economía brasilera cuenta con una serie de incentivos tributarios y legales. Por ejemplo en la ley N° 11.097 de 2005 se incluye al biodiesel dentro de la matriz energética del país. En el decreto N° 5.457 de junio de 2005 se estipula la disminución de las cuotas tributarias a pagar para los importadores y comercialización de biodiesel. Sin embargo es a partir del reglamento de la ANP (*Associação nacional do petróleo*) N° 240 del año 2003 que el biodiesel es regulado en relación a los estándares de calidad que debe tener dicho combustible.

Dentro de la legislación actual se crea el sello de combustible social, el cual entrega facilidades a algunos productores de biodiesel que cumpla con algunos requisitos sociales en la producción de la materia prima para el biocombustible, de esta forma el productor obtiene beneficios como créditos en instituciones financieras y además puede tener excepciones tributarias siempre que el productor garantice un precio de compra de la materia prima para los agricultores.

La legislación también estipula un mínimo de un 5% para mezcla a partir de 2013, iniciando gradualmente a partir del año 2007 una obligatoriedad en la mezcla de 2%..

En lo que se refiere a la vecina nación de Argentina, ellos ya poseen un marco regulatorio base para promover el uso de los biocombustibles. En este cuerpo legal, aprobado en abril de 2006, se estipula la necesidad de la obligatoriedad del uso de biocombustibles como mezcla por lo menos de un cinco por ciento, lo cual será obligatorio a partir del año 2010. Para lo cual, la nueva norma otorga beneficios fiscales para los productores de biodiesel,

que se fabrica a partir de aceites vegetales y animales, de bioetanol, elaborado a partir de caña de azúcar o maíz, y de biogás.

## 2.6 Situación nacional del mercado de biocombustibles

Actualmente en el país es escaso el desarrollo en lo que se refiere a fuentes de energías alternativas, sin embargo, esta claro que frente a los problemas actuales de abastecimiento de gas por parte de Argentina, las continuas fluctuaciones en los precios internacionales del petróleo y la amenaza latente de restricciones eléctricas domiciliarias para el 2008 (frente al déficit pluviométrico), los distintos actores involucrados en la gestión, generación y uso de la energía han comprendido acerca de la necesidad de diversificar la matriz energética nacional. Por esta razón es que, junto con otros tipos de energía, se ha comenzado a investigar en torno a las posibilidades reales en Chile de la utilización de biocombustibles, por una parte el gobierno ya se pronunció a través del Servicio de Impuestos Internos dejando clara la política impositiva de este nuevo tipo de combustible, estableciendo la forma en que se fomentará su producción.

### Marco legal

Desde el punto de vista legal se deben analizar dos aspectos en relación con los biocombustibles: por una parte se refiere al aspecto impositivo y en segundo lugar a la regulación de la calidad de los combustibles.

Bajo el primer aspecto se tiene que las leyes que actuarían eventualmente sobre los biocombustibles son la ley N° 18.502 relativa a “establecer impuesto a los combustibles” y la ley 19.030 relativa a la “creación del fondo de estabilización de precios del petróleo”. (SII, Servicio de Impuestos Internos. 2004)

La primera ley en su artículo N°6 *establece a beneficio fiscal un impuesto específico a las gasolineras automotrices y al petróleo diesel, los cuales devengarán al tiempo de la primera venta o importación, afectando al productor o importador de los mismos.*

Por su parte la ley N° 19.030, también en su artículo N° 6 *ya sea a beneficio o cargo fiscal, según corresponda, un impuesto o crédito fiscal de tasa variable a los combustibles derivados del petróleo referidos en dicha ley, entre los cuales se encuentra el petróleo diesel y el petróleo combustible.*

Por otra parte el Servicio de Impuestos Internos (SII) se vio en la necesidad de pronunciarse acerca de los biocombustibles y en particular con respecto al biodiesel debido a la creciente preocupación por la ampliación de la matriz energética del país y también a que corresponde a un tipo de combustible en expansión en el mundo.

Con ese motivo el SII en abril de 2004 dio a conocer su opinión acerca del tema en una carta de su director ya que preveía la llegada del combustible en el mediano plazo.

En la carta se establece lo siguiente: “El biodiesel es un combustible que utiliza como materias primas aceites vegetales vírgenes, aceites vegetales usados y grasa animal, constituyendo, según la definición de la Unión Europea (EU), un aceite modificado

químicamente sustituto del diesel mineral que puede utilizarse como carburante en automoción, no siendo un hidrocarburo.

De los antecedentes presentados podemos concluir que el biodiesel no se vería afecto al impuesto específico al petróleo diesel, establecido en la ley N° 18.502 ni a la normativa de la ley N° 19.030, que creo el fondo de estabilización, debido a que no se trata de un producto derivado del petróleo, pues es elaborado a partir de aceites y grasas de origen vegetal, siendo además un producto químicamente diferente al petróleo diesel. Sin embargo para que el biodiesel no este afecto a impuestos debe ser comercializado por si sólo, es decir, no mezclado con diesel fósil o incorporado como aditivo.

Si se ocupara en proporción de mezcla (B5, B20, etc) se afectará al impuesto en proporción al diesel fósil de la mezcla.

Todo lo anterior lo confirma la circular N° 30 del 16 de mayo del presente año, enviada por el Director del Servicio Impuestos Internos Ricardo Escobar Calderón en la cual se explicita la política en los que se refiere a los gravámenes a los que se vería afectado los biocombustibles, confirmando la afirmación de que se verían liberados de impuesto solo aquel porcentaje de la mezcla de combustible, que corresponda al biodiesel. De esta forma, si se usa el biodiesel en forma pura, dicho combustible estaría libre en su totalidad de los impuestos a los que se refieren las leyes 19.030 y 18.502.

Tal como se mencionó en un principio el segundo aspecto legal a considerar es en relación a la calidad de los combustibles. Sin embargo este aspecto es del que menos pronunciación existe de parte de las autoridades, ya que el decreto que regula la calidad de los combustibles es el decreto 132/79 y su modificación mediante el decreto N° 198, en lo que se refiere a normas técnicas de calidad del petróleo crudo y ni siquiera menciona a los biocombustibles, ya que data del año 1979 fecha en la que no se conocía el uso de aceites para generar combustibles, más que en círculos cerrados de científicos.

Por lo que se puede concluir que Chile necesita urgentemente la legislación al respecto. Por otra parte el país es un buen seguidor de las leyes de todo ámbito por lo que no es descabellado pensar en que se pondrá rápidamente al día en lo que se refiere a los biocombustibles.

Es Europa en la actualidad el líder en la lucha contra la contaminación global, con la promulgación de todo tipo de leyes y normas para la emisión de contaminantes y además se encuentra ya utilizando los biocombustibles de hace algunos años (incipiente desde la década de los 90), por lo que se cree que el modelo a seguir por nuestro país en normativa de calidad será el europeo y debido a la cercanía con el lenguaje debería ser España el que nos entregue las directrices mas importantes para la formulación del marco legal chileno.

Dentro de este marco legal, las directrices o puntos más importantes a considerar son:

La promoción de la producción y uso sustentable de biocombustibles por un periodo de tiempo no estipulado, que sin embargo debiera ser de 15 años. Para de esta forma fomentar y facilitar la transición de la dependencia al petróleo fósil, hacia otras fuentes de energía.

Determinar niveles de calidad aceptados para el biodiesel que se puede comercializar, así como establecer que las destilerías o refinerías deben hacer las mezclas y no los puntos de venta. Siendo además el porcentaje mínimo de mezcla de 5% tanto para el biodiesel como para el bioetanol.

Punto importante es la creación de una entidad encargada de la fiscalización, así como la investigación y la aprobación de los proyectos elegibles para los posibles beneficios que otorgue el gobierno. Por otra parte dicha entidad deberá vigilar el comportamiento del mercado agropecuario para evitar cualquier problema de competencia con este nuevo mercado agroenergético, que conlleve problemas sociales o ambientales.

Es bajo esta premisa que se desarrollo un esbozo de proyecto de ley, iniciado en moción de los Honorables Senadores señores Chadwick, Coloma, Gómez, Orpis y Pérez Várela, sobre fomento de las energías renovables y combustibles líquidos. En dicho proyecto se establece a grandes rasgo un marco legal en relación al fomento en el uso de biocombustibles. Como parte importante de dicho proyecto es el establecer un porcentaje máximo de 5% tanto en mezcla de etanol como de biodiesel con gasolinas o diesel respectivamente. Este porcentaje corre tanto para la venta directa al usuario de automóvil como para la venta en grandes volúmenes a tanques de almacenaje.

También establece la necesidad de regular los parámetros de calidad de la producción de biocombustibles, así como su fiscalización.

Luego el proyecto establece un calendario hacia el año 2012 de obligatoriedad de mezcla para los biocombustibles con combustibles convencionales.

Finalmente se determina el fomento a la producción e investigación en biocombustibles, a través de un fondo de investigación y un apoyo a la infraestructura a los agricultores productores de grano destinado a biocombustibles.

El proyecto de ley, si bien es solo una declaración de principios, demuestra la intención de legislar acerca del tema, en momentos en que es necesario establecer el marco general para la entrada y la utilización de biocombustibles en el país.

### **3 Estudio de factibilidad Técnica y Económica**

#### **3.1 Aspectos técnicos en la producción de biodiesel**

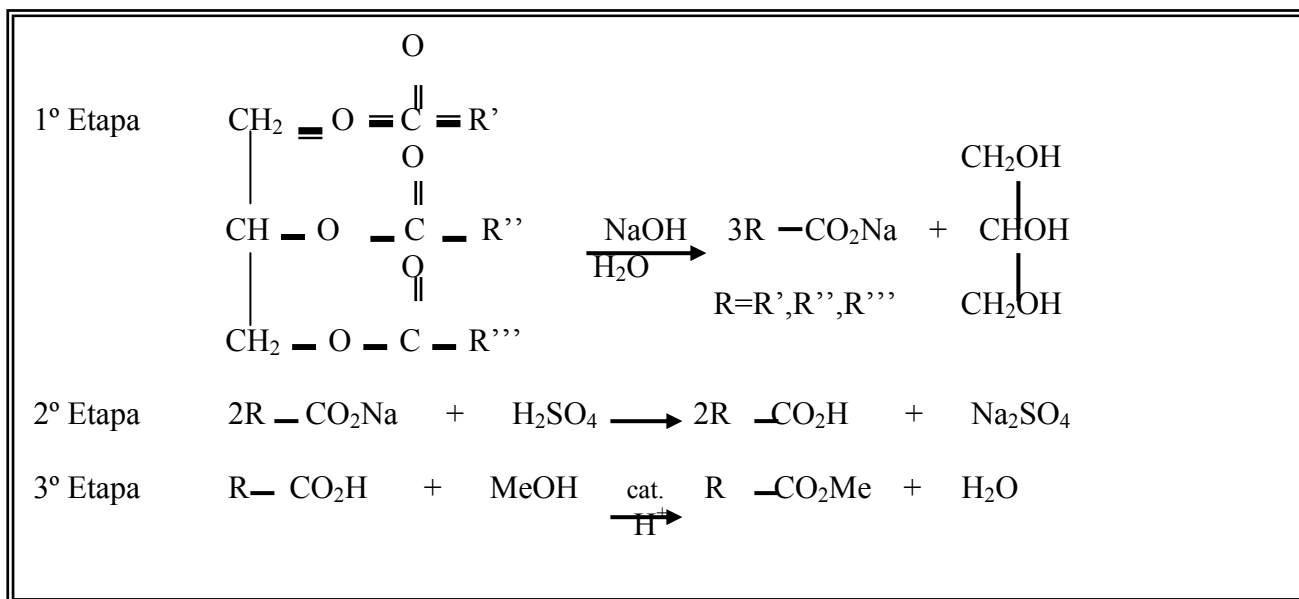
Los aceites naturales, tanto de origen vegetal, manteca animal o marino animal son sustancias insolubles en agua que constan predominantemente de triglicéridos. Estos triglicéridos, o ésteres de glicerol, corresponden a ésteres formados por tres moléculas de ácidos grasos y una molécula de glicerina, este ácido graso puede ser saturado o insaturado y puede tener en su estructura molecular entre 12 y 18 átomos de carbono.(Reyes, 2003)

Estructuralmente el biodiesel corresponde a ésteres metílicos o etílicos de ácidos grasos de cadena larga, un éster a su vez es el producto de la reacción de un ácido orgánico ( $R_1\text{-COOH}$ ) con un alcohol ( $R_2\text{OH}$ ) y normalmente se abrevia como ( $R_1\text{-COOR}_2$ ) donde  $R_2$  corresponde a un grupo alquil del alcohol que ha perdido su grupo OH. La síntesis de biodiesel puede hacerse por una vía directa y por una vía indirecta. La vía indirecta comprende básicamente a tres etapas: primero una saponificación de los triglicéridos presentes en aceites y grasas, para formar jabones y glicerina, luego una neutralización en



medio ácido del jabón para generar un ácido libre (aceite de inversión) y por último una esterificación del ácido graso libre con metanol en presencia de catalizadores generalmente de tipo ácido (Reyes, 2003).

Figura 3: Etapas de obtención de Biodiesel por vía indirecta.



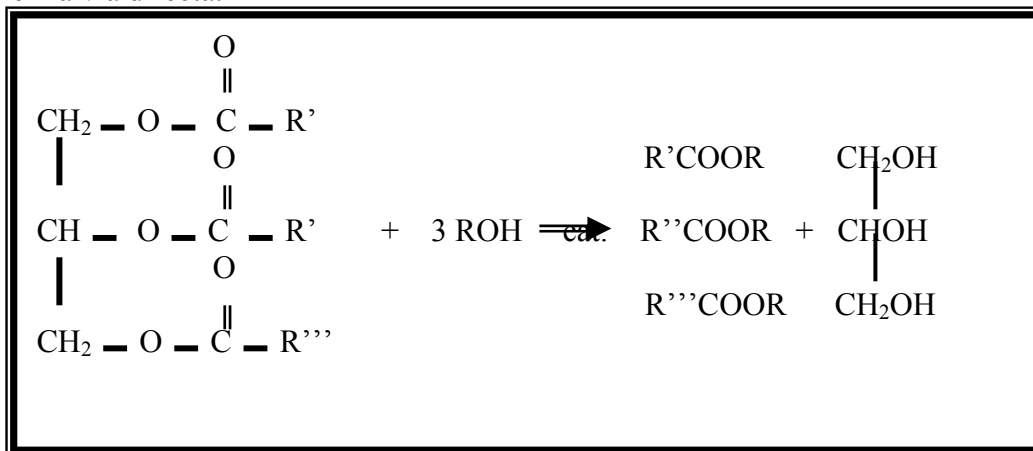
Fuente: Reyes, 2003.

R', R'', R''' corresponden a radicales y se identifican distintos por que pueden o no ser iguales.

La vía directa de síntesis de biodiesel es mediante una transesterificación. Debido principalmente a motivos prácticos y económicos esta es la vía más ampliamente estudiada para la producción de biodiesel. El proceso, también llamado alcoholólisis, es la interacción entre el triglicérido de un aceite o grasa con un alcohol en presencia de un catalizador. Este proceso lo constituyen 3 reacciones reversibles y consecutivas, en las cuales el triglicérido se va convirtiendo sucesivamente en diglicérido, monoglicérido y glicerina y en cada reacción es liberado un mol de éster metílico (Reyes, 2003)

Estructuralmente, el proceso es el siguiente.

Figura 4: Obtención de Biodiesel por transesterificación de triglicérido. Reacción química en la vía directa.



Fuente: Reyes, 2003.

#### Características del catalizador utilizado

Los catalizadores para la transesterificación pueden ser básicos (hidróxidos alcalinos, alcóxidos de sodio, óxidos, carbonatos, intercambiadores aniónicos); ácidos (ácidos minerales, ácidos sulfónicos, p-toluensulfónico, trifluoruro de boro, intercambiadores catiónicos); metálicos y enzimas (lipasas).

Comparativamente se tiene que:

Un catalizador base produce reacciones considerablemente más rápidas que aquellas catalizadas por un ácido.

Un catalizador básico es menos corrosivo para un equipamiento químico industrial.

La alcoholisis catalizada por ácidos generalmente requiera de altas temperaturas, mientras que la alcoholisis básica puede ser conducida a temperatura ambiente o a temperaturas próxima a la de ebullición del alcohol utilizado.

Los catalizadores metálicos requieren de altas temperaturas, lo que propicia la Formación de jabones, por lo que la reacción es menos eficiente. Además presenta bajas velocidades de reacción.

Por ultimo la catalización enzimática, que utiliza distintos tipos de enzimas lipasa, requiera de muchas horas de reacción (aproximadamente 36 horas para completar la reacción) y su costo es demasiado elevado para ser empleado a escala industrial (Reyes, 2003).

Por lo tanto, luego de consultar la bibliografía técnica existente acerca del tema es que se puede afirmar que el catalizador de mayores ventajas para su uso industrial es uno básico, específicamente hidróxido de sodio (NaOH), e hidróxido de potasio (KOH). Esto debido principalmente a los bajos costos de ambos, a que sus tiempos de reacción son muy cortos y a que presentan condiciones de reacciones suaves. Sin embargo es importante que el triglicérido usado no tenga una alta proporción de ácidos grasos libres ya que se produce una reacción de neutralización de dichos ácidos. Así como deben estar libres de humedad, en cuyo caso se generan reacciones de saponificación (se generan jabones). Estas condiciones deben regularse mediante la correcta elección del aceite a usar y de los pretratamientos que a estos se les realicen (García J.M., Laborda J.A., 2007)

#### Características del alcohol utilizado

Una de las variables más importantes que afectan al rendimiento del proceso es la relación molar del alcohol y los triglicéridos. La relación estequiométrica requiere tres moles de alcohol y un mol de triglicérido para producir tres moles de esteres y un mol de glicerol. La transesterificación es una reacción de equilibrio que necesita un exceso de alcohol para conducir la reacción al lado derecho. Para una conversión máxima se debe utilizar una relación molar de 6:1. En cambio un valor alto de relación molar de alcohol afecta a la

separación de glicerina debido al incremento de solubilidad. Cuando a glicerina se mantiene en la solución hace que la reacción revierta hacia la izquierda, disminuyendo el rendimiento de los ésteres (García J.M., Laborda J.A., 2007)

La formación de éster etílico comparativamente es más difícil que la de éster metílico, especialmente la formación de una emulsión estable durante la etanolisis es un problema. El etanol y el metanol no se disuelven con los triglicéridos a temperatura ambiente y la mezcla debe ser agitada mecánicamente para que haya transferencia de masa. Durante la reacción generalmente se forma una emulsión, en la metanolisis esta emulsión desciende rápidamente formándose una capa rica en glicerol quedándose en la parte superior otra zona rica en éster metílico. En cambio en la etanolisis esta emulsión no es estable y complica mucho la separación y purificación de los ésteres etílicos. La emulsión está causada en parte por la formación de monoglicéridos y diglicéridos intermedios, que contienen tanto grupos hidróxidos polares como cadenas de hidrocarburos no polares (Reyes, 2003).

Estudios técnicos establecen que los alcoholes de cadena ramificada reaccionan más lentos que sus homólogos lineales, por su impedimento estérico y que mientras menor es el número de carbonos en el alcohol mayor es el rendimiento (Reyes, 2003). En este sentido, el pequeño tamaño de la molécula de metanol, junto a que los precios de otros alcoholes son considerablemente mayores, hacen de éste alcohol el más utilizado en transesterificaciones a nivel industrial. Debido a lo anterior es que se estableció para el desarrollo del proyecto, que el alcohol a utilizar en el proceso productivo será el metanol.

#### Características del aceite a usar

En la actualidad el aceite más usado para la producción de biodiesel es el aceite vegetal refinado. Este puede provenir de una gran cantidad de cultivos, tales como: girasol, soya, palma, coco, raps, trigo y maíz. Por otra parte últimamente se ha considerado la utilización de aceites de desecho como posibles fuentes de materias primas. Este tipo de aceite puede provenir de un gran número de fuentes, como: desechos de plantas faenadoras de carne, de plantas procesadoras de alimentos, de aceites combustibles gastados y aceites y mantecas utilizados en procesos de frituras.

La elección de uno u otro tipo de aceite depende sin duda de la relación que se establezca entre costos de la materia prima y el rendimiento correspondiente en la producción de biodiesel. Por otra parte es necesario considerar la simplicidad del proceso productivo lo que también influye de manera notable en los costos relacionados a la producción. Como simplicidad se entiende la menor realización de operaciones unitarias en el proceso, como por ejemplo, purificaciones, eliminación de residuos en el aceite, refinaciones, separación de los ácidos grasos libres de los aceites, etc.

Es necesario considerar la utilización de aceites usados como una alternativa real y económica en la producción de biodiesel, por una parte para no crear competencia entre la industria alimentaria y la industria energética, y por otro lado para crear soluciones a los problemas de eliminación de residuos, reciclando estos aceites ampliamente usados en el rubro de los restaurantes, especialmente de comida rápida.

En el caso del proceso de producción de biodiesel usando aceites usados, es levemente distinto al usar aceites refinados, esto debido a que los aceites al sufrir un severo

tratamiento térmico presentan un aumento de la humedad y de los ácidos grasos libres presentes, además aumenta la materia orgánica y productos de la descomposición térmica del aceite. Por lo tanto es necesaria la realización de un pretratamiento en el cual se filtra en caliente y luego un tratamiento térmico a presión para eliminar la humedad. Por otra parte los ácidos grasos presentes son neutralizados al aplicar una cantidad adicional de catalizador. Hay que considerar que la reacción de transesterificación no se lleva a cabo en aceites usados, si no se les realiza este pretratamiento (García J.M., Laborda J.A., 2007).

Frecuentemente en la industria se usa el reciclaje en la fase de glicerol para mejorar los rendimientos en la obtención de biodiesel, sin embargo se ha demostrado que no es necesario realizarla e incluso que disminuye la obtención del biodiesel, por lo que no es recomendable considerarla al momento de establecer el proceso productivo.

Para lograr evaluar dos opciones distintas en la producción del biodiesel es que se eligió analizar el uso de dos tipos de aceites como materia prima. En primer lugar aceite proveniente de cultivos de raps (canola), ya que con esta materia prima se analizan las implicancias agrícolas de la producción del biocombustible. Y por otra parte se analizara el uso de aceites reciclados de fritura. Es decir dos tipos de materias primas de distintas procedencias.

#### Obtención de glicerina

En la síntesis del biodiesel, se forman entre el aceite y el alcohol, normalmente metílico, ésteres en una proporción aproximada del 90% más un 10% de glicerina. La glicerina representa un subproducto muy valioso que de ser refinada a grado farmacológico puede llegar a cubrir los costos operativos de una planta productora.

La glicerina es eliminada en el proceso cuando se procede al lavado con agua. Sin embargo, la glicerina puede encontrarse en el biodiesel como consecuencia de un proceso inapropiado, como puede ser una insuficiente separación de la fase de glicerina o un insuficiente lavado con agua (Reyes, 2003).

La glicerina se emplea en la fabricación, conservación, ablandamiento y humectación de gran cantidad de productos, éstos pueden ser resinas alquídicas, celofán, tabaco, explosivos (nitroglicerina), fármacos y cosméticos, espumas de uretano, alimentos y bebidas, etc.

Así, como coproducto de la producción de biodiesel se obtiene por tanto glicerina, de calidades farmacéutica e industrial. Estas gliceras tienen un valor económico positivo y su comercialización forma parte de la rentabilidad del biodiesel.

Como conclusión, la glicerina se enfrenta a un reto de investigación y desarrollo de cara a tener una salida para la misma en caso que como es previsible su producción (como subproducto de la reacción de transesterificación) aumente significativamente en los próximos años. Por ello, se deben buscar nuevas salidas y aplicaciones al producto final o bien encontrar nuevas aplicaciones en las que ésta actúe como materia prima química.

## Materias primas usadas en la producción de biodiesel

### **Obtención de los aceites**

#### Aceites refinados

Se pretende principalmente analizar el uso de aceites vegetales refinados provenientes de cultivos de raps, conocido también como canola, ya que es una especie cultivable que se adapta muy bien en la zona sur del país, específicamente entre la VII y la IX regiones. En la actualidad solo existen alrededor de 15.000 ha en la IX Región y es usado exclusivamente para la producción de alimento para la industria salmonera. Cabe destacar que la superficie sembrada aumentó de 3.500 a 12.000 hectáreas entre 2003 y 2004, de acuerdo a estimaciones privadas, crecimiento que se explica por diversos factores: en primer lugar existía una demanda importante por cultivos de rotación y en segundo lugar se está incrementando el uso de aceite de raps para abastecer a la industria de alimentos destinados a la acuicultura. De aquí se desprende que no necesariamente se iniciaría una competencia con el rubro de alimentos humanos, pero sí una competencia que se dará en la medida que la industria salmonera adopte el aceite de raps, ya que en la actualidad se usa mayormente aceite de pescado (ODEPA)

En la temporada 04/05 el rendimiento obtenido fue de 35.5 qq/ha, con lo que la producción fue cercana a 44.000 toneladas de grano (ODEPA, 2005), estos rendimientos están por sobre los rendimientos promedio mundial e incluso de la propia Unión Europea. Un punto importante a considerar es la introducción de nuevas variedades de raps, en los últimos cinco a seis años, del tipo híbridas, permiten obtener entre un 10 y 20% más de rendimiento por sobre las variedades convencionales. Si se considera que la superficie cultivada de raps en la actualidad está debajo de las máximas superficies históricas, que bordean las 60.000 ha, se puede aventurar que de existir una demanda por el aceite de raps para producir biodiesel, las áreas cultivables estarían capacitadas para suplir dicha demanda.

Sin embargo, a pesar que se menciona la capacidad y rendimiento de una plantación de raps, en el presente trabajo solo se pretende analizar el uso de aceites refinados ya procesados, dentro del proceso industrial no se incluye el de refinación de los aceites, sino que estos son la materia prima.

Para la temporada recién pasada de 05/06 la ODEPA estima que se produjeron 51.000 toneladas de semillas de raps (INE estima 47.000 ton) de las cuales se producirían unas 17.000 toneladas de aceite de raps elaboradas por las 3 empresas que en la actualidad producen el producto: Aceites del Maule (Talca), Oleotop (Freire) y Molinera Gorbea (Gorbea), sin embargo esta producción no es suficiente para abastecer el mercado nacional de alimentos. Cabe destacar que las hectáreas cultivadas durante este periodo se distribuyó principalmente a través de contratos de compraventa ofrecidos por las empresas antes señaladas, el precio ofrecido por el grano de raps aumentó a US\$ 248/ton puesto en Freire y US\$ 245/ton en Gorbea. Se estima que el promedio efectivamente pagado se ubicó alrededor de US\$ 265/ton. Las empresas procesadoras de raps canola ofrecieron como precio base para el grano de la temporada 2006/07, entre US\$ 300 y 305/ton, precio que es un 15% superior al promedio efectivamente pagado por el grano de la cosecha 2005/06 (ODEPA, 2006).

Respecto de las exportaciones de aceites de raps, es interesante señalar cómo desde 2003 comienzan a figurar en el comercio exterior del cultivo países de América Latina, como

Colombia, Perú, Argentina y Brasil. En el primer semestre de 2006 se exportó 284 toneladas, principalmente a Colombia, a un precio superior a US\$ 1.000 por tonelada, continuando así el crecimiento de los envíos de aceite de raps al exterior.

En los que se refiere a las importaciones de aceite, se traen del extranjero principalmente aceites de soya puro con y sin refinación, aceite de maravilla puro con y sin refinación y aceites mezclados. Estos últimos corresponden a la mayoría de las importaciones con un 89% del total que entra al país. Los volúmenes totales importados al país fueron de 223.638 toneladas en el 2005 y 247.314 toneladas en 2006 (SII, Servicio de Impuestos Internos, 2007).

Al mes de junio de 2006 se importó algo más de 150.000 toneladas de aceites puros y mezclas de aceites vegetales, de las cuales un 85% corresponde a las importaciones de mezclas. Como se comentó anteriormente, la producción nacional de aceite de raps canola no es suficiente para abastecer a la industria de alimentos para salmones. En los 5 primeros meses del año 2006 se importaron 88 toneladas de aceite de raps canola refinado desde Uruguay y Canadá. El precio de las importaciones desde Canadá fue muy alto (US\$ 3.260/ton), pero la mayor parte de lo importado se trajo en junio desde Uruguay (83 ton), a US\$ 779 por tonelada (SII, 2007).

Los precios de aceites en la actualidad lo determina la competencia entre estas 3 empresas y además la demanda que se tenga del producto por parte de la industria salmonera. Como estimación se tiene que el precio del aceite de raps por tonelada es de US \$400.

En resumen, si bien en la actualidad todo el aceite de raps producido en el país es usado en el mercado nacional, la superficie cultivable puede aumentarse con lo que es posible obtener los volúmenes requerido para el funcionamiento de una industria de biodiesel como la que se propone en el presente proyecto.

#### Aceites reciclados

Es necesario buscar una alternativa viable para la producción de biodiesel que no signifique una competencia con la industria alimenticia, así como no fomentar el reemplazo de bosques nativos por extensas plantaciones destinadas para la elaboración de combustibles. Por este motivo se analizara la potencial utilización de aceites de fritura reciclado para lo cual se determinara en primer lugar la cantidad existente y si esta representa un suministro continuo que permita hacer funcionar una industria de demanda tan creciente como la energética.

La utilización de aceites refinados como materia prima implica necesariamente la elaboración de un sistema para su recolección, ya que es casi imposible obtener los volúmenes necesarios de una sola fuente. No es la intención de este proyecto de memoria la realización de una investigación profunda acerca de eficiencia en la recolección, sin embargo se realizara un plan sencillo de recolección basado en recursos propios y no dependientes de terceros, de esta forma se incluirán en los costos básicos del proyecto.

Como ya se mencionó, los volúmenes a obtener de este tipo de aceite son variables, sin embargo se puede establecer un promedio semanal a obtener de acuerdo a información obtenida directamente de los locales de comida rápida ubicados en los centros comerciales de la cadena Mall Plaza.

Si bien los locales varían de un centro comercial a otro, se consideraron los que se repetían en todos los centros comerciales de la cadena Mall Plaza en Santiago para poder determinar un promedio en los volúmenes. Se realizaron consultas en Mall Plaza Oeste, Vespucio, Norte y Tobalaba

Además de los locales que se encuentran ubicados en los centros comerciales se tomaron en consideración para realizar esta estimación todos los demás locales de las mismas cadenas, que se encuentran en el Gran Santiago, para de esta forma tener una noción de la cantidad de aceite de fritura que se encuentra disponible.

Cuadro 5: Estimación de los volúmenes de aceite de fritura producido por locales de comida rápida.

Cadena	Vol. Aceite(L)	Locales	Total est.(L/Semana)
Burger Inn	120	9	1080
Burger King	125	18	2250
Doggi's	150	17	2550
Kentucky FC	200	23	4600
Lomiton	85	18	1530
Mc Donalds	220	43	9460
Mailing	110	8	880
<b>Total</b>			<b>22350</b>

Fuente: Datos recopilados por el autor

Cabe señalar que estos valores son aproximados debido a que se realizaron entrevistas con cada administrador de local de un total 24 locales de distintas cadenas, tanto ubicadas en centros comerciales como individualmente, y en ninguno se lleva registro del volumen exacto que se desecha, sólo se lleva registro del momento del cambio de aceite. El retiro de los aceites varía de centro comercial, sin embargo en un mismo centro comercial el retiro sólo lo realiza una misma empresa externa a Mall Plaza. Estas empresas se encargan del transporte hacia su destino, industrias especializadas en el manejo de residuos y que contemplan la posibilidad de realizar reciclaje del aceite, como Hidronor. El retiro es gratuito ya que el negocio de la empresa de retiro consiste en transportar el aceite a las empresas de reciclaje.

Al considerar el utilizar el aceite de fritura como materia prima hay que considerar el competir por obtener el aceite, por lo que es necesario conocer cuales son las políticas de las empresas en el rubro alimenticio y de Mall Plaza en lo que se refiere al retiro del aceite. Para esto se concertó una cita con el encargado técnico del patio de comida de Mall Plaza Vespucio, el cual indicó que es una política general de Mall Plaza para todas sus instalaciones de comida que eliminen correctamente los residuos tal como lo indica el SESMA, para lo cual se fiscalizan periódicamente los despachos de residuos, entre estos los de aceites de fritura, sin embargo cada marca de comida instalada en el patio de comida tiene la facultad de elegir la empresa que retirara los desechos específicos, siempre que se haga según la normativa vigente, es decir, que la empresa realiza un correcto transporte, neutralización, eliminación o disposición final del residuo según normativa,. Teniendo que

informar a las oficinas técnicas de la administración las fechas de retiro e identificaciones de la empresa encargada.

Consultada al respecto la empresa Mc Donalds, emblemática en el rubro, indico que para la eliminación de los residuos se usan procedimientos dentro de la normativa legal, sin embargo como imagen corporativa se busca entregar una visión de empresa amigable con el medio ambiente, por lo que consultado acerca de la elección del destino final de sus residuos, no se pretende el cobro por estos y se optaría por el uso más ambientalmente sustentable que se les de a estos aceites, es decir favorecerían proyectos tendientes a disminuir la contaminación, en este caso al reemplazar combustibles fósiles por una fuente energética renovable.

Los volúmenes estimados de todos locales de comida rápida se acercan a los 2 millones de litros de aceite, sin embargo, debido a lo variable del uso de aceite (dependen de la afluencia de publico) unido a lo poco significativa de la muestra(a lo más 2 locales de cada cadena) es difícil asegurar un suministro, por lo que es necesario recurrir a fuentes más grandes de aceites de fritura como son las industrias nacionales de snacks: IBC, Lay's, Marco Polo.

Dichas fuentes ocupan una gran cantidad de aceite para sus procesos industriales, estos aceites son de distintas fuentes, suelen ser mezclas de soya y maravilla, sin embargo debido al fuerte tratamiento térmico al que son sometidos se pueden considerar una mezcla homogénea de aceite, con una alta concentración de ácidos grasos libres. Sin embargo con el pretratamiento que se pretende realizar en la planta de biodiesel son eliminados estos obstáculos para la utilización de aceites de fritura.

En resumen, se puede considerar como muy posible la utilización de aceites de fritura para la producción a escala industrial de biodiesel, ya que se pueden lograr volúmenes de hasta 5 millones de litros anuales del biocombustible, solo en la Región Metropolitana. Por lo tanto, desde el punto de vista netamente técnico, la disponibilidad de materias primas no es una limitante para la producción de biodiesel, en la Región Metropolitana. Sin embargo es necesario realizar análisis a los aceites ya que si provienen de distintas fuentes, las composiciones son distintas, lo cual se disminuye al usar solo aceites que se ocupen en el rubro de la comida rápida, ya que corresponderían prácticamente al mismo aceite y además a que se frieron en el casi las mismas cosas.

## **Obtención de los componentes para el proceso**

### **Catalizadores**

Se ha determinado a través de la revisión bibliográfica que en el caso de los catalizadores, presentan mayores ventajas aquellos catalizadores básicos, debido principalmente al costo, al tiempo de la reacción y a reacciones más estables. De esta manera las variables que se manejan son el hidróxido de sodio (NaOH) y el hidróxido de potasio (KOH). De los dos anteriores se optó por el hidróxido de sodio debido a que en los estudios técnico revisados presenta mejores condiciones en la reacción de transesterificación.

El hidróxido sódico o hidróxido de sodio, también conocido como sosa cáustica o soda cáustica, es un hidróxido cáustico usado en la industria (principalmente como una base



química) en la fabricación de papel, tejidos, y detergentes. A temperatura ambiente, el hidróxido de sodio es un sólido blanco cristalino sin olor que absorbe humedad del aire. Es una sustancia manufacturada. Cuando se disuelve en agua o se neutraliza con un ácido libera una gran cantidad de calor que puede ser suficiente como para encender materiales combustibles. El hidróxido de sodio es muy corrosivo. Generalmente se usa en forma sólida o como una solución de 50%. El hidróxido de sodio se usa para fabricar jabones, rayón, papel, explosivos, tinturas y productos de petróleo. También se usa en el procesamiento de textiles de algodón, lavandería y blanqueado, revestimiento de óxidos, galvanoplastia y extracción electrolítica. Se encuentra comúnmente en limpiadores de desagües y hornos. El hidróxido sódico se fabrica por electrólisis de una solución acuosa de cloruro sódico. Es un subproducto de un proceso que se utiliza para producir cloro.

Se obtiene principalmente del cloruro de sodio, es decir la sal, por lo que los precios en los mercados internacionales y nacionales no presentan mayores variaciones, debido a la gran disponibilidad de la materia prima.

En Chile existe una amplia gama de empresas que producen el hidróxido de sodio y que lo tienen disponible para venta al detalle o bien como proveedor de una industria. Según la Asociación Gremial de Industriales Químicos de Chile A.G. (ASIQUM) las empresas proveedoras de sosa cáustica son 16 de las cuales todas poseen potencial suficiente para abastecer los volúmenes requeridos para el proyecto de la planta de biodiesel. Esto debido a que durante la transesterificación la sosa es usada como catalizador y las cantidades ocupadas están sujetas a las condiciones de temperatura que se le den a la mezcla de aceite y metanol. Además, como se ha mencionado, la cantidad de sosa cáustica puede neutralizar la posible presencia de ácidos grasos libres en el aceite. Por lo tanto no son necesarias cantidades excesivamente grandes del catalizador para poner en funcionamiento el proceso industrial. Estudios técnico revelan que la proporción necesaria para que se desarrolle la reacción es de solo 1 % del catalizador uso, específicamente NaOH (sosa cáustica) por lo tanto en volumen se necesitaría anualmente 5.000 litros de sosa cáustica, al cual se vende en solución 50-50, es decir 50% sosa y 50% agua.

Realizada una cotización del producto a la empresa nacional Oxiquim S.A. se nos entregó los siguientes valores:

Tambores de 250 Kg. (venta mínima)

Precio: Us\$0.40 por Kg. más IVA

Tambor de 250 Kg. vale \$8.000 + IVA, (el envase la primera vez se compra luego se recambia)

La empresa realiza despachos a domicilio por un total de \$120.000 neto, o sino se carga un flete adicional de \$10.000 + IVA (solo dentro de la Región metropolitana)

Por lo tanto es a considerar que se le añadirá al costo, un cobro de \$10.000 por despacho. Se requerirá adquirir un total de 20 tambores de 250 Kg. por año, es decir uno cada poco más de dos semanas.

De esta forma se puede determinar que la disponibilidad del catalizador no representa un obstáculo y que por el contrario existe una gran oferta del producto, insumo necesario en la industria que plantea el presente proyecto de memoria.

### Alcohol

Como se mencionó anteriormente la producción de éster etílico (usando etanol como alcohol) es químicamente más difícil que producir éster metílico (usando metanol como alcohol), y debido a la relativa facilidad con que se obtiene metanol en Chile, convierten al metanol en el alcohol ideal para usar en la producción de biodiesel a nivel nacional.

El metanol se obtiene del gas natural y si bien en los últimos años a existido un alto nivel de incertidumbre por las exportaciones de gas natural desde Argentina, Chile sigue teniendo a la mayor empresa productora de metanol en el mundo, Methanex Ltda. De capitales canadienses, la cual se encuentra ubicada, en Chile, en la XII Región, y que produce cerca del 12 % del total que se genera a nivel mundial (METHANEX Ltda.).

Las exportaciones del metanol correspondieron al cuarto lugar nacional entre los de mayores volúmenes de exportación, según el servicio de aduanas durante el año 2006, de los cuales un 67 % correspondió a exportaciones a la Unión Europea, un 12 % a América Latina y un 10 % a Estados Unidos y Corea del Sur (SII).

Por lo tanto se entiende que Chile no necesita importar metanol.

La empresa Methanex en Cabo Negro estaba operando con tres plantas que, combinadamente, aseguraban una producción de tres millones de toneladas métricas, dando trabajo a unas 450 personas. La nueva planta productora de metanol N° 4 tiene una capacidad nominal de dos mil 400 toneladas métricas por día, lo que aumenta la posibilidad de producir a 3 millones 840 mil toneladas métricas de metanol por año. La planta 4 está en su período inicial de puesta en marcha y ya produce a un nivel cercano al 60% de su capacidad, lo que le significa mil 300 toneladas métricas por día. Methanex (MM) es líder mundial en producción y venta de metanol. Sus acciones se transan en Toronto Stock Exchange en Canadá con el símbolo "MX" y en el Nasdaq National Market en Estados Unidos con el símbolo "MEOH". Desde la operación de la empresa a nivel mundial, el precio del metanol ha experimentado una constante alza. Para junio, el precio internacional del metanol está fijado para Europa en 230 euros la tonelada métrica; para Norteamérica, en 316 dólares; y para Asia-Pacífico, en 290 dólares. Las actuales cifras significan un gran crecimiento del precio respecto de los niveles de septiembre de 2002, cuando en el mercado europeo se comercializaba en 208 euros; en Norteamérica, en 206,21 dólares; y en Asia-Pacífico, en 202 dólares.

Existe un mercado de metanol para contratos de largo plazo, que es el mercado fundamental para MM, y existe también un mercado de metanol al contado de entrega inmediata ("mercado spot") movido por usuarios pequeños o infrecuentes del producto.

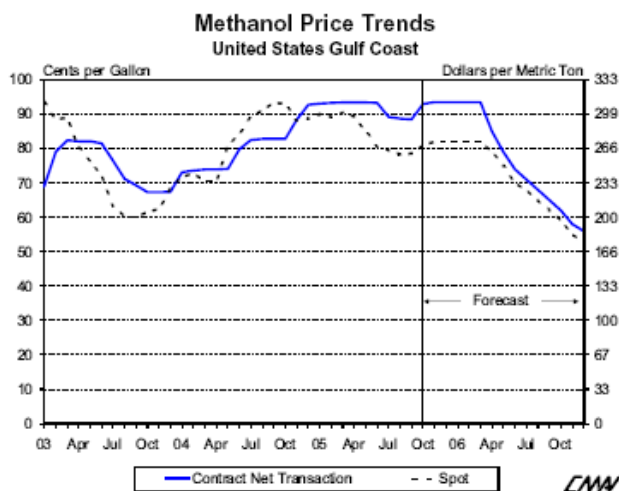
El metanol es una mercadería similar en todo el mundo (un "commodity") cuyo precio puede fluctuar considerablemente en el tiempo. Es así, por ejemplo, como los precios promedios de MM Chile Ltd., Agencia en Chile de los años 1996, 1997, 1998, 1999 y 2000 han sido US\$ 142, US\$ 176, US\$ 101, US\$ 82 y US\$ 154 por tonelada, respectivamente. (Georgia Pacific Resinas Ltda.)

Las ventas de las cuatro plantas productoras se hacen sobre la base de contratos que se renegocian mensualmente, o también de acuerdos de suministro de largo plazo cuyo precio se define como una función del precio de mercado en la fecha de la venta. Como es obvio, el precio al cual se recontracta mensualmente se ve afectado por cual sea el precio del mercado spot en ese momento. Más aún, las fórmulas de cálculo de precio en los contratos

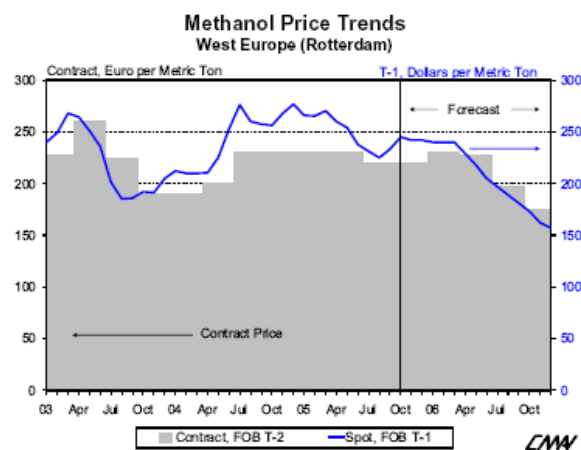
de largo plazo explícitamente incluyen el precio spot publicado semanalmente en revistas especializadas.

Figura 5: Tendencia de precios del metanol en los distintos mercados internacionales en los años 2004, 2005 e inicios del 2006.

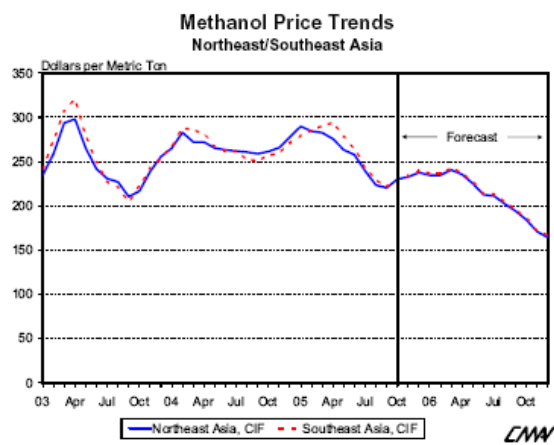
Mercado de EEUU



Mercado Europeo



Mercado Asiático



Fuente: Georgia Pacific Resinas Ltda. en “Evolución y Proyección de los Precios de los Componentes de las Resinas Ureicas”.

La tendencia mostrada por los cuadros indica claramente un periodo de baja en los precios del metanol tanto para su mercado spot como para el de los contratos. Esta tendencia se inicio en el año 2005 pero debido a la gran fluctuación de los precios históricos del metanol es difícil establecer si esta tendencia se prolongara por un periodo extenso de tiempo. Es necesario conocer de primera mano los precios que se determinaría para un proyecto con

los volúmenes requeridos de metanol como los que se necesitan para producir biodiesel a mediana escala. Para la producción de 1 (una) ton. de biodiesel son necesarios: 1 ton. de aceites vegetales y/o grasas animales, 0,1 ton. de metanol. Es decir que en el caso del presente proyecto en el cual se plantea la posibilidad de producir 500.000 litros anuales de biodiesel, se necesitarían 50.000 litros anuales de metanol.

Para lo cual se procedió a contactar a la oficina en Santiago de Methanex para determinar el precio del metanol en base a un contrato por 10 años con volúmenes posiblemente en aumento pero como piso de 50.000 litros anuales lo que corresponde a entregas semanales cercanas a los 1.000 litros. Consultada, vía mail, la empresa acerca de dicha posibilidad de contrato, se estableció que la empresa si realiza contratos por largo periodos de tiempo, sin embargo no fija los precios *a priori* si no que se maneja a través de una estructura de calculo que se negocia al momento de establecer el contrato. Se sugirió establecer un precio de US\$ 400 la tonelada métrica con una sensibilidad de US\$ 100 debido a la gran fluctuación que presenta el mercado mundial.

Desde un punto de vista netamente técnico, es posible producir grandes volúmenes de biodiésel, en la región Metropolitana, debido a la disponibilidad de las materias primas, tanto de los volúmenes requeridos como en la calidad y seguridad de quienes las suministran. El mayor problema lo representa la estacionalidad en el caso de los aceites, tanto de raps como los aceites de fritura. Ambos, por distintas razones, presentan una estacionalidad que representa una amenaza al proyecto, amenaza que disminuye con una adecuada planificación de la producción y los periodos de almacenamiento de las materias primas.

## Producción industrial

### **Proceso general de transesterificación**

Tal y como se ha mencionado anteriormente el proceso básico para la producción de biodiesel es de la transesterificación, sin embargo existen múltiples opciones de operación viables para la fabricación de biodiesel. Muchas de estas tecnologías pueden ser combinadas de diferentes maneras variando las condiciones del proceso y la alimentación del mismo. La elección de la tecnología será función de la capacidad deseada de producción, alimentación, calidad y recuperación del alcohol y del catalizador. En general, plantas de menor capacidad y diferente calidad en la alimentación suelen utilizar procesos Batch o discontinuos. Los procesos continuos, sin embargo, son más idóneos para plantas de mayor capacidad que justifique el mayor número de personal y requieren una alimentación más uniforme (García J.M, Laborda J.A., 2007).

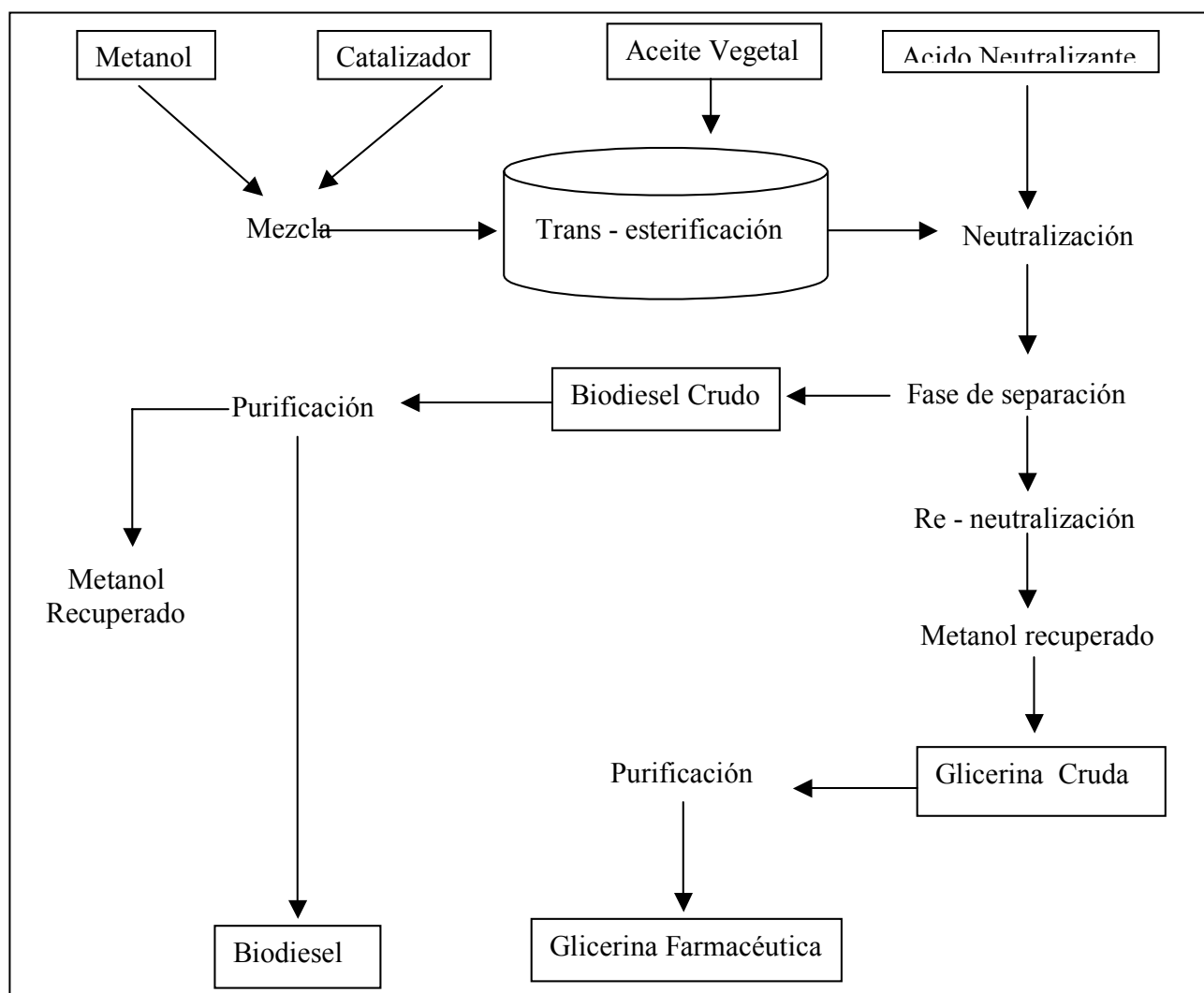
Independiente de las distintas variaciones que se pueda hacer al proceso para optimizar la producción, el modelo general en la producción de biodiesel consta de un contenedor inicial donde se realiza la mezcla del catalizador con el alcohol, mezcla que debe estar lo más homogénea posible para que la reacción se realice de la manera más eficiente. La mezcla pasa a un reactor donde se le añade el aceite y se realiza la reacción de transesterificación, luego se separan el biodiesel crudo de los restos de alcohol, el cual puede ser reutilizado. El biodiesel es purificado, donde se le elimina a través de un proceso de lavado, la glicerina

(bruta) y los restos del catalizador. El biodiesel obtenido es de una pureza de alrededor de un 98% dependiendo de la eficiencia del proceso. Por otra parte la glicerina se puede purificar para comercializar a la industria farmacéutica.

En la producción de biodiesel a nivel industrial es importante establecer la forma en la que se puede obtener durante el proceso productivo con el fin de ampliar los ingresos al transformar los desechos en productos alternativos en la industria. Para lograr separar la fracción de glicerina, químicamente, es necesario neutralizarla con ácido fosfórico diluido, para destruir el exceso de base una vez terminada la transesterificación, luego la fase neutralizada se diluye con un 50% de agua, se deja decantar para separar las fases formadas y luego se purifica la fase orgánica por destilación a presión reducida.

La obtención de glicerinas plantea la necesidad de ampliar el proceso productivo, sin embargo, la realización de esta operación no significa una alta complejidad y los beneficios que se pueden obtener de esta coproducto lo hacen perfectamente viable.

Figura 6: Proceso industrial general de transesterificación.



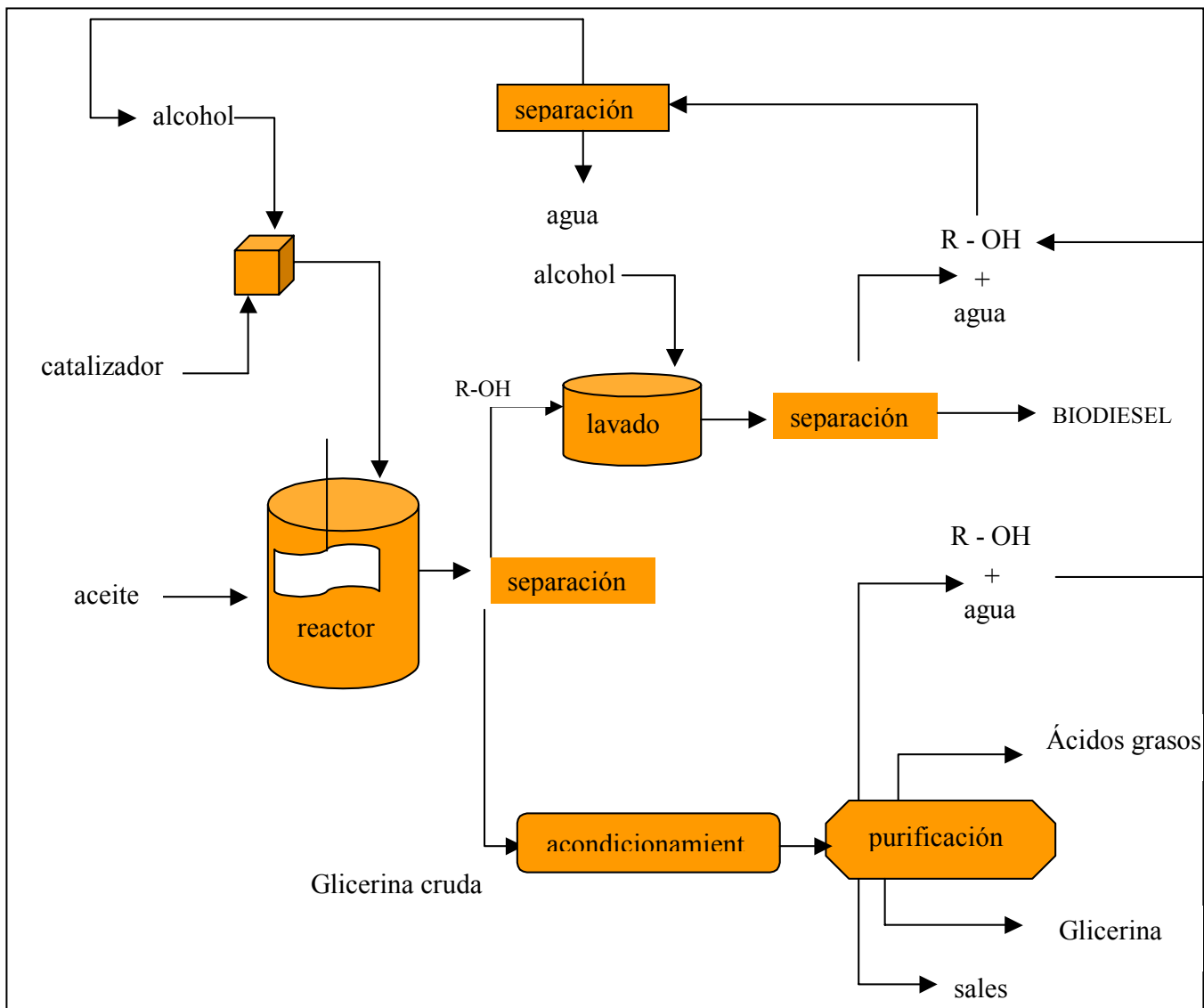
Fuente: E. Acevedo, Serie Ciencias Agronómicas 2006

Sin embargo, tal como se menciona anteriormente, las variaciones más importantes que se pueden realizar en el proceso de producción se pueden dividir en dos grupos generales y dependerán en gran medida del tamaño de la industria (nivel de producción).

*Proceso Discontinuo*

Es el método más simple para la producción de biodiesel donde se han reportado ratios 4:1 (alcohol: aceite). Se trata de reactores con agitación, donde el reactor puede estar sellado o equipado con un condensador de reflujo. Las condiciones de operación más habituales son a temperaturas de 65°C, aunque rangos de temperaturas desde 25°C a 85°C también han sido publicadas. El catalizador más común es el NaOH, en rangos del 0,3% al 1,5%. Es necesaria una agitación rápida para una correcta mezcla en el reactor del aceite, el catalizador y el alcohol. El volumen del reactor está determinado por la capacidad de un suministro apropiado de la materia prima para la producción, no variando significativamente los tiempos de permanencia sino que la cantidad de catalizador y alcohol. Hacia el fin de la reacción, la agitación debe ser menor para permitir al glicerol separarse de la fase éster. Se han publicado en la bibliografía resultados entre el 85% y el 94%. Algunas plantas en operación utilizan reacciones en dos etapas, con la eliminación del glicerol entre ellas, para aumentar el rendimiento final hasta porcentajes superiores al 95%. Temperaturas mayores y ratios superiores de alcohol:aceite pueden asimismo aumentar el rendimiento de la reacción. El tiempo de reacción suele ser entre 20 minutos y una hora (García J.M, Laborda J.A., 2007).

Figura 7: Proceso industrial discontinuo de transesterificación.



Fuente: García J.M, Laborda J.A., 2007 en *Biocarburos líquidos: Biodiesel y Bioetanol*

#### *Proceso Continuo*

Una variación del proceso discontinuo es la utilización de reactores continuos del tipo tanque agitado, los llamados CSTR del inglés, Continuous Stirred Tank Reactor. Este tipo de reactores puede ser variado en volumen para permitir mayores tiempos de residencia y lograr aumentar los resultados de la reacción. Así, tras la decantación de glicerol en el decantador la reacción en un segundo CSTR es mucho más rápida, con un porcentaje del 98% de producto de reacción.

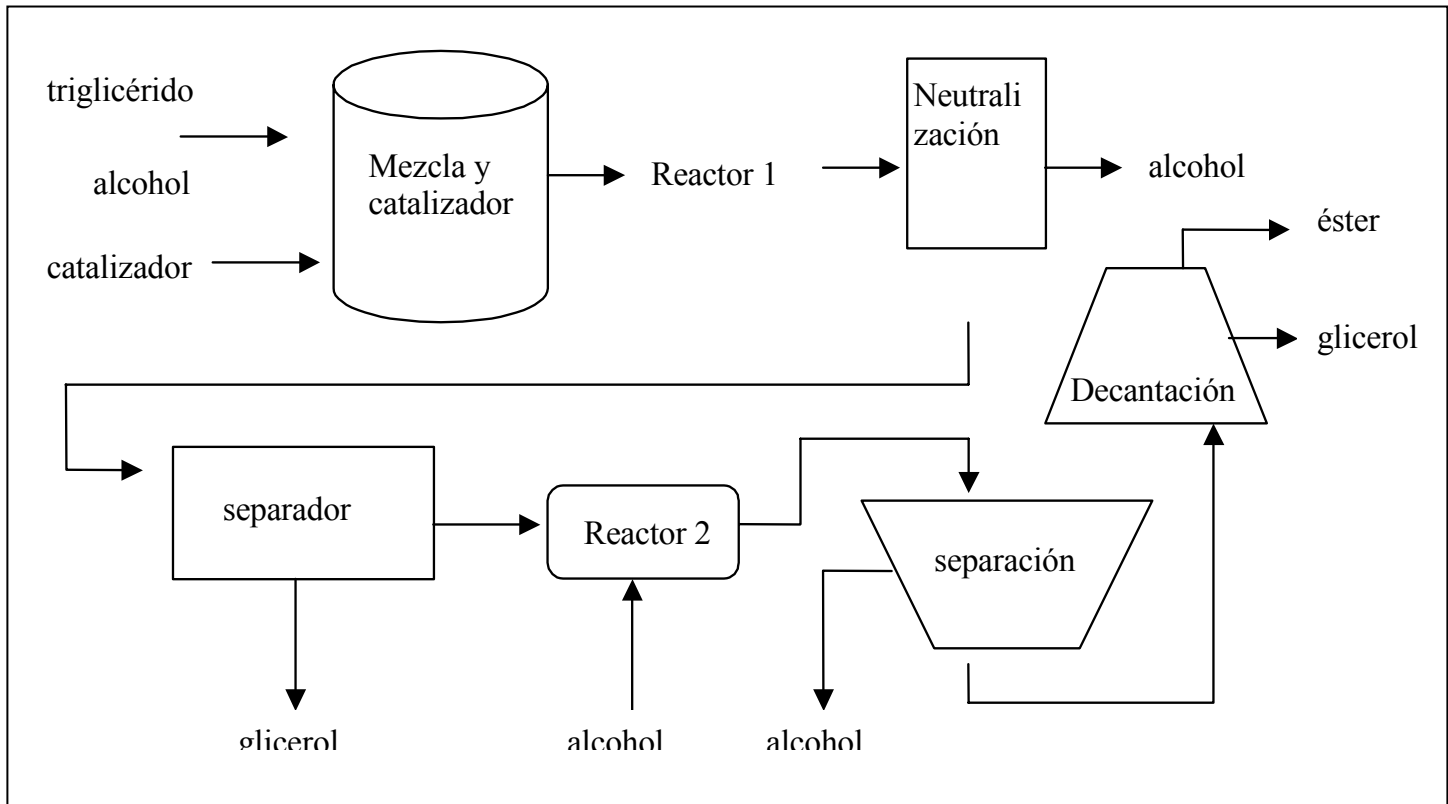
Un elemento esencial en el diseño de los reactores CSTR es asegurarse que la mezcla se realiza convenientemente para que la composición en el reactor sea prácticamente constante. Esto tiene el efecto de aumentar la dispersión del glicerol en la fase éster.

El resultado es que el tiempo requerido para la separación de fases se incrementa.

Existen diversos procesos que utilizan la mezcla intensa para favorecer la reacción de esterificación. El reactor que se utiliza en este caso es de tipo tubular. La mezcla de reacción se mueve longitudinalmente por este tipo de reactores, con poca mezcla en la dirección axial. Este tipo de reactor de flujo pistón, Plug Flow Reactor (PFR), se comporta como si fueran pequeños reactores CSTR en serie.

El resultado es un sistema en continuo que requiere tiempos de residencia menores (del orden de 6 a 10 minutos) con el consiguiente ahorro, al ser los reactores menores, para la realización de la reacción. Este tipo de reactor puede operar a elevada temperatura y presión para aumentar el porcentaje de conversión.

Figura 8: Proceso industrial continuo de transesterificación.



Fuente: García J.M., Laborda J.A., 2007 en *Biocarburantes líquidos: Biodiésel y Bioetanol*

La elección del tamaño de una industria cualquiera depende un gran número de factores tanto técnicos como financieros y en muchos casos hasta motivacionales de los



inversionistas. En este tipo de análisis interrelacionado entran a influir variables como demanda, disponibilidad de insumos, de tecnología, localización, plan estratégico de desarrollo futuro, entre otras cosas. Muchas veces el factor determinante es la demanda proyectada del producto que se pretende producir, de la que se desprenden múltiples escenarios posibles en la producción.

Sin embargo luego del análisis de los antecedentes de una planta del tipo que se propone en el presente proyecto, es que se consideró que el factor preponderante en la determinación del tamaño es la disponibilidad de la materia prima, ya sea de aceite refinado de raps o aceites de fritura reciclado. En ambos casos los volúmenes de aceites ha obtener pueden estar sujeto a la estacionalidad, y dado que la demanda de combustible es siempre creciente es que se propone que el tamaño de la industria a analizar se de un volumen medio de producción de biodiesel, es decir de alrededor de 500.000 litros/anuales de combustible, es decir 500 m<sup>3</sup>/anuales, lo que corresponde aproximadamente a un 0.01 % del total de la demanda nacional de diesel (2006). Para lograr dicha producción anual es necesario producir diariamente poco más de 1600 litros. En valores de tonelada se tiene que la producción esperada es de 439 toneladas anuales. Dicho volumen de producción se contempla como una forma de entrar en el negocio para luego en el segundo año aumentar la producción a 700.000 litros del biocombustible. Para lo cual es necesario producir cerca de 2250 L/ día.

Por lo tanto se utilizaría el proceso Batch o discontinuo para la producción del biodiesel.

La decisión anterior se sustenta además en los altos costos de las tecnologías, costos que aumentan según se plantea un volumen cada vez mayor de producción. Por lo que si bien la tecnología existe y esta relativamente disponible, ya que es necesaria traerla desde Argentina, los costos de una producción mayor hacen prohibitivo la idea de crear una gran industria sin la seguridad en los suministros de las materias primas.

#### Infraestructura necesaria

La planta esta conformada por una línea de producción, instalaciones de servicio, incluye un laboratorio para análisis de la calidad del producto, un área de almacenamiento de insumos (metanol y soda cáustica), estanques para el almacenamiento de la materia prima, ya sea aceite de raps o aceites de fritura. Por otra parte estanques para el almacenamiento del biodiesel terminado. Además se requerirá de instalaciones para el personal y administrativas, estas constan de una oficina de ventas y administrativa, camarines para cambio de ropa del personal, casilleros, duchas y baños.

Las instalaciones y su superficie se detallan en el siguiente cuadro.

Cuadro 6: Instalaciones y áreas requeridas para la planta de producción.

Áreas	Instalaciones asociadas	Superficie o capacidad
Línea de fabricación	Preparación de los insumos y proceso industrial	200 m <sup>2</sup>
Estanque materia prima, producto y subproducto	Laboratorio de análisis	6 m <sup>2</sup>
	Estanques para materia prima	10 m <sup>3</sup>
	Almacenamiento de biodiesel	de 10 m <sup>3</sup>
Tambores insumos	Almacenamiento glicerina	1 m <sup>3</sup>
	Tambor para sosa cáustica	250 Kg.
Infraestructura del personal	Almacenamiento metanol	1 m <sup>3</sup>
	Oficina, camarines, duchas y baños	20 m <sup>2</sup>
Área de carga y descarga	Estacionamiento para camiones	50 m <sup>2</sup>

Fuente: Elaboración propia

#### Tecnología necesaria

##### Pretratamiento del aceite reciclado

La realización del pretratamiento al aceite es un proceso relativamente sencillo ya que requiere de un contenedor que posea calefacción eléctrica, lo que permita aumentar la temperatura del aceite a alrededor de los 65° C para que de esta forma se filtre la materia orgánica y las impurezas que presenta. Luego es necesario aplicarle presión en el mismo contenedor ya que la temperatura y la presión eliminan la humedad presente el aceite reciclado. La presencia de ácidos grasos libres en los aceite de fritura se deben a que sufren un severo tratamiento térmico en su utilización. Es necesario neutralizar estos ácidos ya que la reacción de transesterificación no se realiza en presencia de estos, para su neutralización solo se debe añadir una cantidad extra del catalizador, en este caso la sosa cáustica.

##### Descripción del Reactor

Los reactores BD2 son presurizados, tienen calefacción eléctrica, y utilizan mezclado por alta velocidad. Es necesario el aislamiento en fibra de vidrio, regulación automática de presión y temperatura de proceso. Son construidos en acero inoxidable. Presentan un sistema de ventilación para la evacuación de vapores tóxicos (del alcohol) que pudieran generarse en el proceso y que interfieren con la calidad de la reacción. El proceso en el reactor no genera ningún tipo de efluentes líquidos ni sólidos. Además que la construcción cumple con las normas IRAM, DIN y ASTM para seguridad industrial, y ambiental.

### Componentes e Instrumentación

El sistema de llenado esta provisto de dos entradas independientes que se conectan a la provisión de alcohol y aceite. Un operador controla manualmente el proceso. Las salidas se conectan a recipientes para glicerol y biodiesel. Para este ultimo, se incluye un filtro de 5 micrones, al cual se le puede cambiar constantemente el cartucho para elevar la eficiencia. La temperatura de reacción se regula desde el tablero; para ello se provee un termostato y un termómetro analógico de control. Los sensores de temperatura son de tipo capilar, lo que asegura la confiabilidad de los mismos. La presión de reacción se fija mediante un regulador incorporado en la entrada de aire comprimido. Incluye además un manómetro analógico para control y dos válvulas de seguridad.(Contacto directo via mail con la empresa Argentina ABATEC SA, 2007)

### Operación del Modulo

El modulo mínimo esta integrado por un termo secador flash tipo BD2-D y un reactor BD2. La secadora utiliza idéntico cuerpo y accesorios que el reactor, e incorpora una bomba de bajo vacío. El aceite, previamente decantado y filtrado, se calienta y deshidrata por medio de la secadora, que produce un vacío para hacerlo a baja temperatura relativa. En el Reactor, se aspira el alcohol y se inicia el mezclado. A continuación se le añade el catalizador básico (Hidróxido de Sodio) predeterminado con anterioridad a través de una entrada en la parte superior. Los nuevos modelos permiten la mezcla de hasta 800 L de aceite caliente desde la secadora al reactor. Se cierra el venteo y se presuriza, habilitando inmediatamente el temporizado y el circuito de calefacción. Cuando se completa el tiempo de mezclado, se desactiva el circuito de calefacción, y manteniendo la presión, se espera el tiempo necesario para que ocurra la separación por decantación del glicerol y el biodiesel. Aplicando presión al reactor, se expulsa primero el glicerol y a continuación se extrae el biodiesel pasándolo por el filtro de cinco micrones antes de almacenarlo. El metilester filtrado que se obtiene, esta listo para ser usado de inmediato, no requiriendo proceso posterior alguno. Cada ciclo llenado-reacción-decantación se completa en 10 a 11 horas, pudiéndose efectuar entonces dos mezclas diarias. La reacción solo toma 90 minutos, sin embargo es necesario esperar todo este tiempo para lograr una perfecta decantación y separación del biodiesel con el glicerol.( Contacto directo via mail con la empresa Argentina ABATEC SA, 2007)

Ahora bien, toda la tecnología anteriormente mencionada esta en constante desarrollo y evolución, así como los procesos y técnicas para la producción, pero es escasa la investigación y el desarrollo que existe en el país, lo que queda en evidencia al revisar el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA) y encontrar solo un proyecto presentado asociado específicamente a biodiesel. De la misma forma existe un proyecto de investigación financiado por el CONICyT acerca de biodiesel, presentado por Molinera Gorbea, la misma que produce aceite de raps.

Dentro del entorno latinoamericano, los países con mayor avance en los biocombustibles son Brasil, Uruguay y Argentina. Por lo tanto es necesario considerar que la tecnología necesaria para instalar una planta de biodiesel se encuentra disponible, pero a través de la

importación desde Argentina, el cual es el país más cercano que posee dicha tecnología, lo que lógicamente hace que los costos de traslados sean menores en comparación a otros países.

Se decidió entrar en contacto con una empresa argentina de confianza en el rubro del biodiesel a nivel local. La empresa ABATEC SA. Es fundadora de la cámara Argentina de biodiesel y afines. Esta empresa gentilmente entregó toda la información requerida para la instalación de una planta de producción del biocombustible. La información de precios corresponde al mes de diciembre 2007.

En relación a los precios de las tecnologías se tiene que:

El modulo mínimo incluye 1 secadora BD2D + 1 reactor BD2+ 1 compresor de aire SAT-2 de 1.5 HP, (sistema pendular y carter seco, libre de mantenimiento, para 150 l/min de aire libre de aceite y SECO)

El precio del modulo mínimo (M4) = Us\$ 14,460.

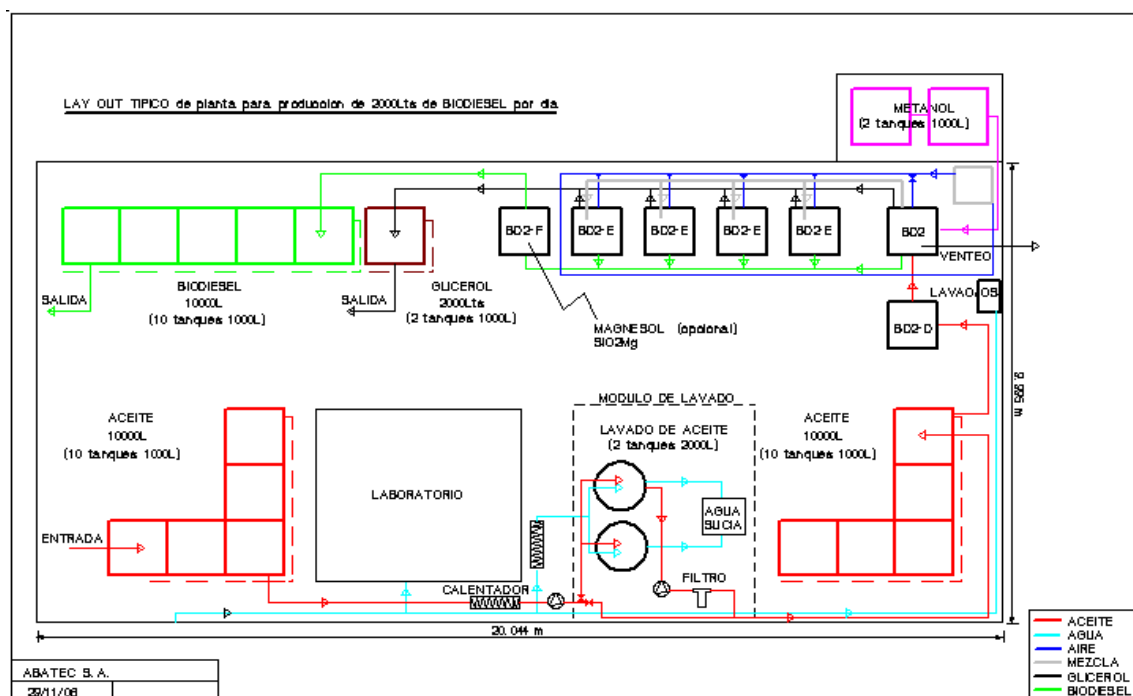
M8 - 800 l/día, modulo minimo+ 1 decantador BD2-E=	Us\$ 17.950.- FOB
*M12 - 1200 l/día, modulo + 2 BD2E=	Us\$ 21.500.-
*M16 - 1600 l/día, modulo + 3 BD2E=	Us\$ 24.850.-
*M20 - 2000 l/día, modulo + 4 BD2E=	Us\$ 28.250.-
*M24 - 2400 l/día, modulo BD4 + 2 BD4E=	Us\$ 34.625.-
*M32 - 3200 l/día, modulo BD4 + 3BD4E=	Us\$ 38.500.-
*M40 - 4000 l/día, modulo BD4 + 4 BD4E=	Us\$ 45.300.-

La producción esta calculada durante 24h, definida por las horas necesarias para una perfecta decantación.

Cada reactor, secadora o decantador ocupa 1 m<sup>2</sup> de superficie

La empresa ABATEC entrega también un modelo base para la instalación de una planta. El modelo esta pensado para 2400 L/día, sin embargo, dado que en el presente proyecto se plantea la producción de 2200 L/día, el esquema se ajusta a los requerimientos del proyecto.

Figura 9: esquema general de una planta de producción de biodiesel.



Fuente: ABATEC SA. 2008

En el esquema anterior se grafica claramente la necesidad de un reactor BD4 de 600 litros de capacidad y 2 decantadores de 600 litros cada uno, con lo cual se logra la producción diaria de 2400 litros. Recordamos que por el tiempo de decantación se requieren 2 turnos diarios. No se contempla el trabajo de 3 turnos en la industria (un turno nocturno).

El módulo de lavado que se presenta en el esquema corresponde a la zona de purificación de los aceites, en el caso de los aceites de fritura, zona donde se les realiza la eliminación de la humedad y la neutralización de ácidos grasos libres.

De la información entregada por ABATEC la opción que mejor se adapta a los requerimientos de la industria proyectada corresponde al modulo M20 el cual contempla un secador de aceites, que es donde se le realiza al pretratamiento al aceite (en caso de aceites de fritura), un reactor y 2 decantadores, la producción estimada corresponde a 2400 litros por día, sin embargo cabe señalar que la empresa contempla la producción de la industria las 24 horas del día. El costo de este modulo asciende a los Us\$34.625, precio en fabrica, para el calculo del precio total del modulo para producción se desarrolló el siguiente cuadro.

Cuadro 7: Calculo valor en moneda nacional de la tecnología importada.

Calculo valor(Us\$)	Valores
Producto	34.625
Flete (5%)	1.731,25
Seguro (2%)	692,5
CIF(producto+flete+seguro)	37.048,75
derecho aduanero(6% valor CIF)	2.222,925
IVA(19% valor CIF)	7.039,2625
Valor final de la tecnología	46.310,9375
Valor dólar al 22/06	525,41
Valor moneda nacional	24.332.229,7

Fuente: elaboración propia

A pesar de lo presentado en el cuadro anterior, el valor que se usara para determinar la inversión inicial será el valor CIF más el derecho aduanero, no se considerará el IVA, ya que este impuesto se considera al final de la evaluación financiera. Por lo tanto se considera que el valor de la tecnología es de \$20.633.730,8

En valores de capacidad productiva se tiene que la tecnología que se pretende ocupar para la industria esta pensada para producir un total de 2400 litros por día lo que representaría una capacidad anual de 748.800 litros, volumen que representaría una capacidad ociosa de 248.800 litros en el primer año de producción. Luego a partir del segundo año en que se producirán 700.000 litros, la capacidad ociosa se reducirá a solo 48.000 litros en caso de ser necesaria una mayor producción.

#### Obtención de glicerina en el proceso seleccionado

Debido a la importancia de la glicerina como coproducto es que es absolutamente indispensable plantearse su recuperación desde la planificación del proceso productivo que se llevara a cabo en la etapa de operación del proyecto. La glicerina se obtiene en las etapas finales del proceso, cuando el biodiesel ya esta formado, del reactor fluye una mezcla de biodiesel y un 10% de glicerina, como la glicerina tiene un peso específico mayor al del biodiesel, la forma más sencilla de lograr la separación es realizar una decantación de la mezcla. Para lo cual la mezcla pasa a una serie de decantadores donde luego de 9 o 10 horas (tiempo suficiente para una correcta decantación) y a través del uso de bombas de extracción, es retirada la glicerina primero y separada del biodiesel, el cual esta listo para ser comercializado. La glicerina no es un producto refinado apto para uso farmacológico, sin embargo, por motivos económicos es que muchos estudios recomiendan no incluir la refinación de la glicerina dentro de una industria de biodiesel, y que la glicerina obtenida permite generar ganancias sin la necesidad de su refinación.

Como se mencionó, el proceso de transesterificación genera un 10% de glicerina sin refinar. Esto representa un volumen anual de 50.000 litros de glicerina factibles de vender, durante el primer año para luego aumentar a 70.000 litros a partir del segundo año.

Los valores actuales en el mercado de la glicerina se obtuvieron cotizando con la empresa nacional Oxiquim S.A. la cual entregó el siguiente valor por Kg.: Us \$0.98 más IVA. Considerando la densidad de la glicerina (1.261 Kg/L) se tiene que los volúmenes en litros

que generará la industria pasados a peso corresponden a 63.050 Kg. en el primer año para luego producir 88.270 Kg. a partir del segundo año.

### **3.2 Aspectos Económicos en la producción de Biodiesel**

Es necesario considerar cual sería el espacio en el mercado nacional que ocuparía una eventual introducción de biodiesel, ya que no es un producto que se encuentre disponible en la actualidad. Además se debe tener en consideración la intención de las autoridades de establecer, en un mediano plazo, tasas obligatorias de mezclas tanto para el diesel con biodiesel, como para las gasolinas convencionales con etanol. Por este motivo es necesario conocer el escenario actual de los combustibles en el país.

#### Antecedentes de la producción de combustibles en Chile

Chile no se puede considerar un país productor de diesel. Los principales yacimientos se encuentran en la XII región y son explotadas a través de la Empresa Nacional del Petróleo (ENAP). La prospección y explotación de yacimientos se realizan generalmente a través de empresas subsidiarias de ENAP que actúan como contratistas. Por otra parte la importación de crudo o combustibles, las pueden realizar cualquier privado. Como referencia, durante el 2001, se importaron 11,8 millones de m<sup>3</sup> de crudo, principalmente desde Argentina (77%), Brasil (6%), Nigeria (5%) y Perú (5%). Asimismo, las ventas de combustibles de las refinerías sirvieron para abastecer el 85,4% del mercado nacional cubriendo gran parte de las necesidades energéticas nacionales en relación a combustibles. Por lo tanto, se requiere del crudo que se exportan para satisfacer la creciente demanda de combustible en el país. Pero también se depende de la importación directa de combustibles para satisfacer el consumo nacional.

Cuadro 8: Producción interna, demanda e importaciones de combustibles del mercado nacional.

	Producción		Crudo (miles m3)	Importación		Demanda	
	Gasolinas (miles m <sup>3</sup> )	Diesel (miles m <sup>3</sup> )		Gasolinas (m3)	Diesel (m3)	Gasolinas (miles m <sup>3</sup> )	Diesel (miles m <sup>3</sup> )
<b>1996</b>	2.530	3.381				2.946	4.199
<b>1997</b>	2.690	3.497				3.064	4.690
<b>1998</b>	2.795	4.065				3.188	4.663
<b>1999</b>	2.916	4.091	10.791	282.488	306.511	3.252	5.084
<b>2000</b>	2.972	4.424	11.058	420.500	684.341	3.261	4.780
<b>2001</b>	2.787	4.520	11.187	468.494	513.136	2.982	4.867
<b>2002</b>	2.890	4.516	10.527	644.225	669.376	2.965	5.031
<b>2003</b>	3.103	4.601	11.847	672.758	756.593	2.879	5.030
<b>2004</b>	3.265	4.201	12.282	674.622	1.370.525	2.930	5.539

Fuente: Comisión Nacional de Energía (CNE), 2006. Citado en la pagina web de ENAP.

Por otra parte, en Chile existe un parque automotriz de cerca de 2 millones de autos bencineros, 389 mil diesel, 3,193 a gas y sólo 42 eléctricos. Lógicamente que el total de vehículos que ocupan diesel corresponden a la demanda de dicho combustible y por ende a potenciales clientes en la venta de biodiesel.

Se estima que el consumo anual de diesel por parte del parque automotriz antes mencionado alcanzaría los 5.539.000 m<sup>3</sup> anuales.

El excedente de la demanda del combustible corresponde al sector industrial que lo utiliza como fuente de energía para sus procesos. Sin embargo, este tipo de demanda se encuentra en retroceso debido a la utilización del gas licuado natural (GLN) y de otros derivados del petróleo de menor costo, como el petcoke.

Si bien, debido a sus características y cualidades, el biodiesel puede competir con otros combustibles derivados del petróleo, en el presente proyecto de memoria solo se plantea la posibilidad que entre a competir en el mercado frente al diesel, debido a que su puesta en marcha no requiere de modificación en los motores que usan actualmente diesel convencional.

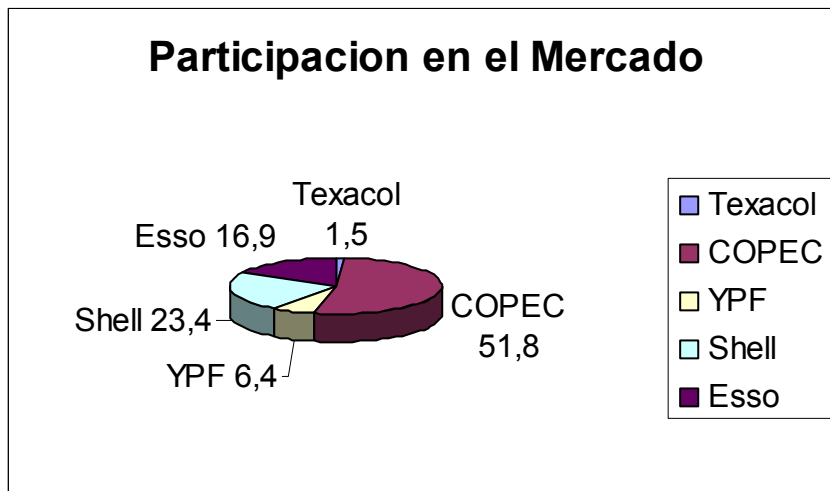
En el año 1978, comenzó la liberación de la distribución de combustibles, la que fue completada en 1982 con la liberación de precios. En 1979, a partir de la derogación del decreto N°20 de 1964, se inicia la apertura del mercado de combustibles líquidos con la entrada de nuevas compañías.

Las principales empresas en Chile que se encuentran en el mercado de los combustibles son COPEC, Esso, Shell, Texacol e YPF-Petrobras. De estas, solo la primera es un consorcio nacional, las restantes corresponden a empresas transnacionales, sin embargo todas se dedican al negocio de importación, distribución y venta de los combustibles en el país.



Estas empresas abarcan la totalidad del país en su red de distribución, alcanzando un 95% del territorio nacional. Dentro de estas empresas, la de mayor participación en el mercado es COPEC con 618 puntos de venta en el país, seguida en importancia por SHELL. (Fuente: Enap. 2005).

Figura 10: Participación de las empresas en el mercado de los combustibles.



Fuente: creado por el autor en base a datos de ENAP.

## Precios

En Chile existe libertad de precios para los combustibles y cada distribuidor y estación de servicio puede cobrar los valores que estimen conveniente, de acuerdo con los niveles que impone la competencia y con las propias expectativas de ganancias (márgenes) del empresario. También existe libertad para producir e importar combustibles, de modo que ENAP toma en cuenta los precios de las importaciones de productos desde el extranjero al determinar sus propios precios, la que a su vez es el parámetro para las empresas distribuidoras.

En los últimos años, ENAP ha continuado aplicando una política basada en el seguimiento semanal de la paridad de importación. En términos resumidos, este concepto significa que la empresa elige la mejor alternativa de costos que se ofrece para cualquier importador de traer un producto a Chile desde un mercado de referencia, como lo es el de la costa del Golfo de México, en Estados Unidos. Sobre esta base la empresa nacional mantiene contratos de venta con las compañías distribuidoras.

El mercado de los productos es distinto del de los crudos, de modo que si bien este último puede en un momento mostrar oscilaciones fuertes, no necesariamente determinan el precio de los derivados, cuyos precios están sujetos a la evolución de la oferta y la demanda que se da en ámbitos específicos del mercado de cada combustible. En el caso de ENAP, los márgenes de refinación dependen de crudos comprados con no menos de 60 días de anticipación, considerando el tiempo que media entre el momento en que se compran y el momento en que se transforman en productos finales.

ENAP no tiene ninguna responsabilidad en el mecanismo de operación del Fondo de Estabilización de Precios del Petróleo (FEPP, Ley N° 19.030), ni tampoco en el Fondo de Estabilización de Precios de Combustibles (FEPC, Ley N° 20.063). Tampoco en los efectos que éstos tienen sobre los precios finales, ya sea cuando se aplican créditos a favor del consumidor, cuando los precios internacionales están altos, o con impuestos, cuando los precios están bajos y este fondo empieza a recuperar los recursos que perdió en momentos cuando aplicó subsidios para amortiguar las alzas. Los principales factores que intervienen en el cálculo de los precios de ENAP son el precio en el mercado de referencia; los costos transporte y logística (oleoductos, almacenamiento); costos de internación o arancel aduanero; seguros, impuesto específico e IVA; evolución del tipo de cambio y efecto del impuesto o crédito de los fondos FEPP y FEPC.

Según lo dispone la Ley 19.589, el arancel aduanero de Chile es del 6%. Esta condición de arancel bajo muestra por qué ENAP debe continuar con sus esfuerzos para enfrentar la mayor competencia de las importaciones.

Las autoridades fiscalizadoras del país han reconocido el criterio de paridad de importación como el criterio válido para el mercado chileno y, además, han indicado que siendo ENAP dominante en el mercado (es el único que hoy tiene refinerías en Chile) en ningún caso abusa de esta posición, toda vez que su política comercial se sustenta en la competencia que de hecho les cabe a los importadores de combustibles y en los precios de referencia internacionales.

De esta manera, cualquier fórmula contractual que establezca ENAP con sus clientes - las compañías distribuidoras- no afecta los precios internos de los combustibles en Chile, puesto que, en un contexto de precios de paridad de importación, éstos vienen dados desde los mercados externos.

ENAP mantiene contratos de abastecimiento con las compañías distribuidoras, en los cuales estas empresas comprometen libremente los volúmenes anuales a adquirir, lo que permite a ENAP programar con anticipación las compras de crudo y los procesos de refinación para entregar los combustibles que los clientes demandan, haciendo más eficiente el proceso de refinación y la programación logística.

### Fórmula de Precios

Esta fórmula de precios se aplica en los casos de las gasolinas, diesel y kerosén.

ENAP actualiza los jueves de cada semana los precios a los distribuidores mayoristas. Por lo tanto, por "semana" se entenderá el periodo de siete días corridos que comienza el jueves de una semana calendario y termina el miércoles de la semana calendario siguiente.

El esquema de cálculo de estos precios es el siguiente:

$$PM(t) = PI(t) + FEPC + IVA + IE$$

donde:

**PM (t)** = Precio a los distribuidores mayoristas en la semana "t", con impuestos, en \$/m<sup>3</sup>.

**PI (t)** = Precio Paridad de Importación Concón en la semana "t" = Precio internacional para el producto puesto en Concón, Chile. Incluye: precio FOB en mercado de referencia EE.UU, costo del transporte marítimo Corpus Christi (Texas)-Quintero, seguro, arancel aduanero (cero absolutamente para producto de origen en EE.UU.), otros costos menores de importación, y costo de la logística de recepción en Quintero y de transporte hasta Concón.

**IE**= Impuesto específico (fijo, en UTM/m<sup>3</sup>). 6 UTM/m<sup>3</sup> (gasolinas) y 1,5 UTM/m<sup>3</sup> (diesel).

**IVA**= Impuesto al Valor Agregado.

**FEPC (t)** = Fondo de Estabilización de Precios del Petróleo, Ley 20.115, vigente para la semana "t". Toma valores FC (Crédito FEPC), FI (impuesto FEPC) o cero.

Cuando el FEPC otorga crédito (subsida) en FC \$/m<sup>3</sup>:

$$PM(t) = PI(t) - FC(t) + IVA + IE \quad \text{donde } IVA = (PI - FC) \times 19\%$$

Cuando el FEPC aplica un impuesto de FI \$/m<sup>3</sup>:

$$PM(t) = PI(t) + FI(t) + IVA + IE \quad \text{donde } IVA = PI \times 19\%$$

(\*)Promedio de los días hábiles de las semanas "t-3" y "t-2".

(\*\*)Llevado de U\$/m<sup>3</sup> a \$/m<sup>3</sup> tomando el tipo de cambio del día martes anterior al día de vigencia de los precios, que es el jueves de cada semana. Si el PI en \$ así calculado varía en menos de 0,5% con respecto al PI en \$ vigente, no se modifica, permaneciendo por tanto vigente otra semana. Esto para no introducir volatilidad excesiva en los precios incorporando fluctuaciones poco significativas en el mercado internacional.

Gráficamente el precio queda determinado en los siguientes porcentajes.

#### Cuadro 9: Estructura de precios ENAP

Precios ENAP a Distribuidores Mayoristas en Santiago

**(Participación porcentual sobre el Precio de Venta) al: 07 de Diciembre de 2006.**

	<b>Gasolinas</b>	<b>Diesel</b>
Precio ENAP puesto en Concón	48,0%	68,3%
Oleoducto Concón/Maipú	0,9%	1,4%
FEPP	4,8%	2,7%
Impuesto Específico	36,1%	13,9%
IVA	10,2%	13,7%
Precio Venta a Mayoristas	100%	100%

(Fuente: Enap. 2006)

### 3.3 Determinación de escenarios de evaluación del proyecto

En este punto es necesario presentar dos escenarios distintos con los cuales se va a evaluar la factibilidad técnica y financiera del proyecto. Por un lado se contempla la utilización de aceite de raps para la producción del biodiesel, aceite que será adquirido a la empresa Oleotop con oficinas centrales en Temuco, pero que tiene puntos de venta en Santiago, y el precio ya fue establecido anteriormente en la presente memoria.

Un segundo escenario contempla la necesidad de recolección y utilización de aceites reciclados de fritura, los cuales como se presentó con anterioridad en la memoria, se

obtendrán en forma gratuita de los locales de distintas cadenas de comida rápida presentes en la ciudad de Santiago.

La mayor diferencia se contempla en el costo de la materia prima, que en el segundo escenario se vuelve cero, por lo que reduce significativamente los costos variables. Por otra parte aumenta los costos en transporte y distribución, al ser necesario recolectar el aceite de distintos puntos dentro de la ciudad. De la misma manera aumenta, en menor medida, la inversión necesaria para poder contar con un stock adecuado de tambores que permitan el almacenamiento en los distintos locales de comida rápida de los cuales se recolectará el aceite.

### Costos del proyecto

#### Costos fijos

Para la determinación de los costos fijos se considero el arriendo de la maquinaria específica, la cual tiene un valor de mercado demasiado alto por lo que se recomienda su arriendo en una primera etapa del proyecto al no contar con el suficiente flujo de efectivo. También se considera aquí los costos por la adecuada manutención para el óptimo funcionamiento de las maquinarias, dicha manutención es mensual y esta a cargo de la empresa que otorga el arriendo de la maquinaria. La empresa es maquinarias TAPROD ubicada en la comuna de Independencia en la ciudad de Santiago. El monto del arriendo mensual asciende a \$525.000 + IVA. Contemplando 150 horas mensuales, además se debe cancelar \$35.000 + IVA por el traslado hacia la industria. Dicho monto se cancela una sola vez. El arriendo incluye al operador.

Además se considera en los costos fijos el arriendo del terreno donde se emplazara la industria, lo cual ya se detallo anteriormente en el presente proyecto. Dentro de los costos fijos se contempla también el pago del sueldo del gerente, por lo que se establece así independiente del nivel de la producción de la industria. Es necesario establecer como costo fijo, el pago semestral de la patente industrial, otorgada por la municipalidad de San Joaquín.

Cuadro 10: Costos fijos.

<b>Ítem</b>	<b>Costo mensual(\$)</b>	<b>Costo Anual(\$)</b>
Arriendo maquinaria	525.000	6.335.000
Arriendo terreno	450.000	5.400.000
Pago semestral		
Patente	1.394.292,307	2.788.584,614
Sueldo Gerente	1.200.000	14.400.000
<b>TOTAL</b>		<b>28.923.584,61</b>

Fuente: Elaboración propia

#### Costos variables

Es necesario realizar una pequeña aclaración con la presentación de los costos variables. Como se apreciara, estos costos variables se modifican al aumentar la cantidad a producir, como es el caso de la mano de obra y el transporte. La explicación es que debido a la

tecnología requerida para la producción, a pesar de que se aumenta la producción, la cantidad de personal no es necesario aumentarla en este rango, el cual es hasta una producción diaria de 2500 litros, lo cual representa una producción anual cercana a los 800.000 litros. Es decir que para producir más de dicho valor se deberá realizar ajustes no solo en la cantidad de personal, sino que también en la inversión requerida debido a que se requerirá de una tecnología distinta a la utilizada para la presente evaluación.

En el caso del transporte la disminución del valor de costo variable se debe a que dentro de este rango de producción tampoco existen modificaciones en la cantidad de viaje que se realizaran para la distribución y en el caso del segundo escenario, la recolección del aceite de reciclaje.

### Primer escenario

Cuadro 11: Costos variables en el primer escenario.

<b>Insumo</b>	<b>Costo Unitario(\$) producción 500mil L</b>	<b>Costo Unitario(\$) producción 700mil L</b>
Metanol	16,603	16,602956
Aceite de Raps	184,524	184,524
Sosa cáustica	2,518	2,518
Energía eléctrica	2,100	2,1258
Transporte y distribución	35,700	25,500
Uso de agua	0,848	0,848
Vapor	1,643	1,643
Mano de obra	58,800	42,000
<b>Costo total</b>	<b>302,736</b>	<b>275,761</b>

Fuente: Elaboración propia

Los costos correspondientes a vapor, fueron obtenidos a través de referencias de una planta de producción ubicada en Santa Fe, Argentina. Este vapor es usado auxiliarmente en el calentamiento del aceite. Por otra parte en el ítem Uso de agua, se contempla el agua potable usada como consumo o servicios básicos, así como lavado de equipos y por otra parte aunque mínima en el enfriamiento de los equipos durante el proceso productivo. Todos los datos obtenidos en dólares fueron pasados a moneda nacional según tipo de cambio del 22/06/07.(obs 525,41)

Los costos de metanol, aceite de raps y sosa cáustica han sido detallados con anterioridad. La energía eléctrica necesaria esta contemplada como un conjunto entre la necesaria para los procesos productivo, pensada como toda una unidad, y la energía utilizada en las oficinas y servicios del personal. El precio de la energía eléctrica fue determinado a partir de consultas con industrias de la zona y confirmada con la empresa Chilectra, que tiene rangos según la cantidad ocupada por la industria, el precio es de \$35,43 por cada KW/hora.

Por otra parte el costo del transporte se determinó a través de una cotización con la empresa Transportes ACAR, en base a contrato por un año, en el cual se necesitaba de un día a la semana de transporte del biodiesel a los puntos de venta. No se requiere de un camión especial para el transporte del biocombustible, ya que se entregarán en tambores de la propia empresa, los cuales están contemplados en la inversión inicial.

## Segundo Escenario

Cuadro 12: costos variables en el Segundo escenario.

<b>Insumo</b>	<b>Costo Unitario (\$)</b>	<b>Costo Unitario (\$)</b>
	<b>Producción de 500 mil litros</b>	<b>Producción de 700 mil litros</b>
Metanol	16,603	16,6030
Aceite de frituras	92,520	92,520
Sosa cáustica	2,518	2,518
Energía eléctrica	2,126	2,1258
Transporte y distribución	71,400	51,000
Agua de enfriamiento	0,848	0,848
Vapor	1,643	1,643
Mano de obra	58,800	42,000
<b>Costo total</b>	<b>246,457</b>	<b>209,258</b>

Fuente: Elaboración propia

En este segundo escenario el precio del aceite se vuelve cero al solo ser necesario recolectarlo, sin embargo el costo de transporte y distribución se duplica al ser preciso ampliar un día más en el contrato con la empresa encargada del arriendo del camión.

Sin embargo, para poder considerar cualquier evolución del mercado es que se decidió considerar la mitad del precio unitario del aceite de raps, como referencia para usarlo como precio del aceite de frituras. De esta forma, aunque en la actualidad no se cobre por este aceite de desecho, un posible surgimiento de un eventual mercado del biodiesel podría generar que se imponga un precio a este desecho, y de esta forma el presente proyecto estar preparado en cierta forma para resistir dicha eventualidad.

También es necesario considerar el aumento en la inversión inicial en un monto de \$2.578.800 debido a que se duplicara el uso de los tambores de plástico de 228L los cuales serán utilizados para la recolección, para lo que serán dejados en los puntos de los cuales se obtiene el aceite reciclado, como una forma de asegurar el correcto almacenamiento y además fidelizar a los locales de comida con la industria del biodiesel. Esta inversión también será necesaria de asumirla cada tres años debido al desgaste de los tambores en su utilización.

### Inversión inicial

Se debe entender como inversión inicial la adquisición de todos los activos fijos o tangibles e intangibles que se necesita para iniciar las operaciones del negocio, dejando de lado el capital de trabajo. Bajo este concepto es que para el caso de nuestra planta de producción la inversión inicial corresponde a la adquisición de la tecnología necesaria para la producción. Dicha tecnología como se ha mencionado, se adquirirá a una empresa Argentina de experiencia en el rubro (ABATEC), de la cual no es necesario cancelar y royalty por la tecnología. Dentro de la inversión también se contemplan los trámites necesarios para establecer una industria, patentes, licencias y permisos en la municipalidad y entidad correspondiente. Además se debe tener en cuenta la instalación de la planta y faenas necesarias para adecuar el terreno elegido, a los requerimientos de la industria. También se consideran los equipos anexos al reactor, necesarios para la producción, tales como tambores para el metanol y para la glicerina y los estanques para almacenamiento de biodiesel. Se contemplan como accesorios de la planta y representa una inversión que se debe realizar cada tres años debido al desgaste por el uso de los equipos.

Dentro de lo que se refiere a los tramites legales, es necesario detallarlos debidos a que corresponden a un ítem importante dentro de la inversión, debido tanto a su importancia legal, como a los montos que representan. Se detallan a continuación.

Cuadro 13: Valores de la tramitación requerida.

	Tramites	Detalle calculo	Costo (\$)
Autoridad sanitaria	solicitud de calificación de actividad ambiental	51.765	51.765
Bienes nacionales	constitución de sociedad	200.000	200.000
	escritura de constitución de sociedad	1% del capital	557.717
Municipalidad San Joaquín	patente comercial	2,5% el capital	1.394.292
		1,5% del	
	permisos de edificación	presupuesto	244.346
	certificado de informaciones previas	Solo los papeles	
	recepción definitiva de obra	Solo los papeles	
SII	solicitud RUT	Gratis	
	iniciación de actividades	Gratis	
<b>TOTAL</b>			<b>1.053.828</b>

Fuente: Elaboración propia

Sin embargo cabe señalar que la patente comercial no se contempla en la inversión, sino que corresponde a un costo fijo ya que se paga semestralmente en la municipalidad correspondiente.

Otra parte de la inversión consiste en la instalación de un laboratorio para desarrollar pruebas de calidad a las muestras de combustible, en lo que se refiere a la tecnología y equipamiento de laboratorio. Las obras civiles para emplazar dicho laboratorio se contemplan en las faenas generales de instalación de la planta.

Dentro de las obras civiles se contempla la construcción de un galpón de 250m<sup>2</sup> totalmente cerrado y con piso asfaltado. La instalación eléctrica necesaria también esta contemplada y representa una inversión cercana a las cinco millones de pesos

No se contempla la compra de terrenos ni de vehículos, sino que solamente su arriendo, así como de la maquinaria liviana que se necesita para el funcionamiento de la industria. Los montos de las inversiones se detallan a continuación. (Para el cálculo de los montos de inversión se usó el valor de la U.F. del día 27/06/07, \$18.613,04)

Cuadro 14: Inversión inicial.

<b>Inversión inicial</b>	<b>Monto (\$)</b>
Modulo reactor	20.633.730,76
Accesorios planta	7.051.380
Tramites legales	1.053.828,173
Equipamiento de oficina	987.264
Equipamiento laboratorio	de 1.500.000
Obras civiles	29.939.462,6
<b>TOTAL INVERSION</b>	<b>61.128.680,55</b>

Fuente: Elaboración propia

### **Capital de trabajo**

El capital de trabajo es el capital adicional, diferente de la inversión inicial, con él que se deberá contar para que empiece a funcionar el proyecto y también durante el funcionamiento normal del negocio, producto del descalce natural que ocurre entre el comportamiento de los ingresos y egresos. En este caso es necesario financiar la primera producción antes de recibir ingresos y hay que adquirir materia prima, pagar mano de obra directa, contar con cierta cantidad de efectivo para sufragar los gastos diarios que implica el proyecto. Es importante pensar en el capital de trabajo, porque inicialmente se tendrá que gastar antes de ver utilidades. El capital de trabajo, corresponde a los fondos que son necesarios para cubrir el valor del desfase entre los gastos (egresos) que se producen por las compras y el ingreso efectivo por el cobro a los clientes, solo dentro del primer año se requerirá de capital de trabajo para solventar el déficit que se genera al iniciar el negocio y producir por todo un mes sin recibir ingresos. Este capital de trabajo tendrá un monto de \$90.145.689 que corresponde al costo total de producción los primeros seis meses. Para el caso del segundo escenario deberá incluirse un capital de trabajo de \$76.069.691 correspondiente también a los costos de la producción en los primeros 6 meses en los cuales no se cuenta con suficiente flujo de caja.

### **Personal necesario**

Debido a que se plantea la producción a mediana escala es que dentro del personal administrativo se contempla una nomina de solo dos personas, una encargada de recepción y secretaría, otra persona encargada de supervisar y administrar la planta de producción. Este último se requiere de estudios de Ingeniero Civil.

Por otra parte el personal técnico debe ser como mínimo cuatro puestos, de los cuales tres estarán encargados de manejar los reactores para el proceso productivo y un cuarto como auxiliar en caso de ser requerido en el proceso. Este cuarto empleado deberá estar



capacitado para realizar las pruebas de laboratorio a las muestras que se le tomen al biodiesel, por lo tanto debe tener estudios en nivel técnico superior y estará jerárquicamente sobre de los operarios de la planta. Se contará también con operarios part-time en el caso de la carga y descarga semanal de las materias primas y del biodiesel, las cuales se desarrollaran los días sábado, estos estarán considerados en el ítem de costos en el transporte. En el caso del personal técnico, a excepción del encargado del laboratorio, corresponderán a dos turnos, por lo que en total representan a seis operarios en la planta. En último término la planta contara también con un guardia nocturno para proteger los bienes de la empresa recién creada.

Cuadro 15: Personal de la planta.

Mano de obra	Desglose (\$)	Costo unitario mensual (\$)	Costo anual (\$)
Operadores	6	200.000	14.400.000
supervisor/laboratorista	1	260.000	3.120.000
Administrador	1	550.000	6.600.000
Guardia	1	220.000	2.640.000
Secretaria	1	220.000	2.640.000
<b>TOTAL</b>			<b>29.400.000</b>

Fuente: Elaboración propia

### Localización de la industria

El estudio de la localización adecuada involucra no sólo el estudio del lugar óptimo de la planta productiva sino que también de las oficinas administrativas. Sin embargo en el presente proyecto se contemplan que las oficinas administrativas estén en el mismo lugar que la industria para minimizar los costos en una primera etapa del proyecto.

Los factores que comúnmente influyen en el análisis para determinar la localización de la industria son:

Medios y costos de transporte

Disponibilidad y costo de mano de obra

Cercanía de las fuentes de abastecimiento

Factores ambientales

Cercanía al mercado

Costos y disponibilidad de terrenos

Topografía

Disponibilidad de suministros básicos (agua, energía)

Posibilidad de la correcta eliminación de desechos

Una buena ubicación favorecerá sin duda a disminuir ciertos costos que tienen relación con transporte y disponibilidad de las materias primas. Si se considera que los cultivos de raps se encuentran principalmente en la IX existe la posibilidad de emplazar una posible planta de producción en la zona sur del país, posición que se refuerza con las plantas de metanol

que posee la empresa Methanex en la XII región. Sin embargo como ya se mencionó se pretende ocupar el aceite de raps ya procesado, no las semillas. Según este criterio, una de las tres empresas que procesa este aceite tiene oficinas centrales en Santiago por lo que es factible obtener el aceite en la Región Metropolitana a un precio similar al de la zona sur del país. Cabe señalar que la empresa Methanex también posee sus oficinas centrales en Santiago por lo que no representa dificultades la obtención del metanol en el centro del país.

Por lo tanto la elección de la localización de la planta no depende tanto de la disponibilidad de la materia prima sino que dependerá de la disponibilidad de la tecnología y los conocimientos técnicos necesarios para la instalación y manutención de la planta. Bajo esta premisa es que se levanta la región metropolitana como la privilegiada para la instalación de la planta, además de la presencia del la mayor aglomeración de vehículos diesel del país, por lo que la demanda esta prácticamente asegurada.

Vistos la necesidad de una buena localización en la región Metropolitana es que se optó por el sector sur de la capital en la zona industrial de la comuna de San Joaquín. Debido a su buena conectividad, bajos precios de los terrenos y disponibilidad cercana de la mano de obra. El valor del arriendo del terreno es de \$450.000 el aviso fue publicado el día 15 de julio de 2007 en los avisos clasificados on line de El Mercurio. La dirección del terreno es Departamental #380.

### Depreciaciones

Para las depreciaciones se considera el deterioro de los equipos o la obsolescencia producida por los avances tecnológicos, lo cual tiene un impacto en la construcción del flujo de caja ya que influye directamente sobre el balance neto del proyecto.

Para calcular el valor de este ítem se dividió el valor de los activos a depreciar por su vida útil, mediante el método de depreciación lineal. Es necesario precisar que para la determinación de la vida útil se utilizo la Tabla de Vida Útil de los Bienes Físicos de los Activos Fijos o Inmovilizados, disponible en la página Web del Servicio de Impuestos Internos (SII).

Cuadro 16: Depreciaciones para el primer escenario.

Ítem	Valor (\$)	Vida útil	Depreciación(\$)
Modulo reactor	24.332.229,7	10	2.433.222,967
Accesorios planta	7.051.380	3	2.350.460
Equipamiento de oficina	987.264	10	98.726,4
Equipamiento de laboratorio	1.500.000	10	150.000
Obras civiles	29.939.462,6	15	1.995.964,173
<b>TOTALES</b>	<b>64.864.164,4</b>		<b>7.028.373,541</b>

Fuente: Elaboración propia

Para el segundo escenario se presenta un ligero cambio en las depreciaciones debido al aumento de la inversión inicial que se requerirá bajo el nuevo concepto de recolección de aceites.

Cuadro 17: depreciaciones para el segundo escenario.

<b>Ítem</b>	<b>Valor (\$)</b>	<b>Vida útil</b>	<b>Depreciación(\$)</b>
Modulo reactor	24.332.229,7	10	2.433.222,967
<b>Accesorios planta</b>	<b>9.630.180</b>	3	<b>3.210.060</b>
Equipamiento de oficina	987.264	10	98.726,4
Equipamiento de laboratorio	1.500.000	10	150.000
Obras civiles	29.939.462,6	15	1.995.964,173
<b>TOTALES</b>	<b>66.389.136,3</b>		<b>7.887.973,541</b>

Fuente: Elaboración propia

### **Ingresos**

Los ingresos están determinados por dos ítems, por una parte esta la función principal de la industria la cual es producir biodiesel, y en segundo término es la venta del subproducto de la reacción química, el glicerol.

La venta de biodiesel se realizara a pequeños distribuidores de combustible y no esta dirigido a las grandes empresas en el rubro, ya que aun no han determinado sus políticas a seguir en el caso de los biocombustibles, de esta forma la manera de comercializar el producto en este caso no es directa, sino que vendiéndoles el producto a los distribuidores. Por lo tanto debe presentar un precio competitivo para que se animen a adquirir este nuevo combustible y lo quieran mezclar con diesel convencional. Por lo que se pretende entregar al biodiesel sin el cargo del impuesto específico, el cual, el Servicio de Impuestos Internos ya ratifico que los biocombustibles estarían exentos, lo que representa un 13,9% del precio final. Por otra parte, debido a que todos los valores de costos y gastos se han determinado sin IVA, para facilitar la evaluación, el precio final también se calculara sin IVA, que en el caso de los combustibles diesel corresponde al 13,7% del precio total. En resumen, si le reducimos el IVA y el impuesto específico al precio final que en la actualidad tiene el diesel en el mercado (\$450 al 11/11/07), le estamos disminuyendo un 27,8% del precio final. Por lo tanto el precio de venta a los pequeños distribuidores será de \$325. De esta forma aseguramos que sea beneficioso para los distribuidores el elegir usar biodiesel y combinarlo con combustible convencional para aumentar sus volúmenes de venta y por ende sus ganancias.

El glicerol se vende directamente a las empresas farmacéuticas y cosmetológicas, las cuales luego de refinarlas las usan en sus procesos productivos. El precio de venta, tal como se definió anteriormente, es cercano al dólar por kilogramo, por lo que se generaran ganancias extras al negocio cercanas a los treinta y dos millones de pesos en el primer año para luego subir a cerca de cuarenta y cinco millones de pesos a partir del segundo año.

Cuadro 18: Ingresos.

	Precio(\$)	Ingreso con producción de 500 mil L	Ingreso con producción de 700 mil L
Ventas biodiesel(Litros)	325	162.500.000	227.500.000
Ventas glicerina(KG)	514,9018	32.464.558	45.450.382
<b>Total ingresos(\$)</b>		<b>194.964.558</b>	<b>272.950.382</b>

Fuente: Elaboración propia

### 3.4 Evaluación Financiera

#### Horizonte de evaluación

Para motivos de evaluación económica se empleara un horizonte de 10 años, sin embargo es necesario sugerir el realizar una posterior evaluación cumplido el plazo debido a las posibles modificaciones que se generarían en un mercado naciente como el de los biocombustibles.

#### Tasa de descuento

Según Sapag y Sapag (1996) “La tasa de descuento que debe utilizarse para actualizar los flujos de caja de un proyecto ha de corresponder a la rentabilidad que el inversionista le exige a la inversión por renunciar a un uso alternativo de esos recursos, en proyectos de niveles de riesgo similares” por lo tanto, la determinación de la tasa de descuento es esencial debido a que una mala elección puede inducir a resultados erróneos dentro de nuestra evaluación. Con todo, si los inversionistas disponen de los recursos deberá usarse como tasa de descuento “el costo oportunidad del capital” de uso de esos recursos en aquella alternativa que a igual riesgo le reditué la misma rentabilidad exigida a esa inversión. Caso contrario de no disponer de fondos y estos recursos deban obtenerse mediante un préstamo en el sistema financiero deberá usarse la tasa de interés o costo del dinero que la institución financiera cobre por el préstamo en comento

Es necesario que la tasa de descuento refleje la necesidad de obtener una rentabilidad de acuerdo con los riesgos asociados al proyecto, lo cual, dentro de las matemáticas financieras se determina con los betas de un proyecto. Sin embargo, no existen en Chile información económica suficiente acerca del mercado de los biocombustible, lógicamente debido a que es un rubro absolutamente nuevo en el cual no existen experiencias reales en el país. Lo que queda reflejado en el hecho de que ni siquiera existe legislación adecuada acerca del tema.

Por otra parte, existe un pequeño número de iniciativas experimentales que ayudan a crear un escenario realista en el cual se desarrollara estos proyectos en un mediano plazo. Tal como se ha mencionado en el presente proyecto existe una iniciativa presentada en la Comisión Nacional de Investigación Científica y Tecnológica (CONACYT), sin embargo este proyecto está presentado como investigación tecnológica y de procesos, no con referencias financieras y económicas. Otra experiencia existente que si presente grandes ayudas en el punto de la tasa de descuento es una tesis realizada por alumnos de la Facultad de Economía y Negocios de la Universidad de Chile, en la cual calculan la tasa de descuento usando la metodología CAPM, usando como corrección los indicadores de riesgo país y la liquidez, esto debido a que se usaron valores de referencia del mercado estadounidense para calcular la tasa. El valor obtenido por ellos para la tasa de descuento bordea el 13%, por otra parte recomendaciones de distintos estudios plantean que las tasas de descuento en proyectos energéticos deben superar el 10% debido a los riesgos asociados a los muchos factores externos que influyen en este tipo de inversiones. Es con estos antecedentes con los que se tomó la decisión de usar una tasa de descuento para el presente proyecto de 12%.

#### Tasa de impuesto

La tasa de impuesto usada para esa evaluación será el impuesto de primera categoría vigente desde el año tributario 2005, con un valor de 17%.

#### Tipo de cambio

El tipo de moneda a usar será pesos chilenos, esto debido a que los valores cotizados de la mayoría de los insumos, así como el general del mercado de los combustibles, el factor que más los afectan no corresponden a la inflación, sino que a factores distintos entre sí y a la realidad chilena.

### **3.5 Criterios de evaluación**

Las matemáticas financieras buscan determinar si la inversión que se proyecta para el proyecto, rinde mayores beneficios que los posibles usos de alternativas para la misma suma de dinero.

Los criterios mayormente usados que usan el concepto de flujo de caja descontado sin los de valor actual neto y tasa interna de retorno.

Los criterios que se usaran para evaluar económicamente el proyecto serán el cálculo del valor actual neto (VAN), la tasa interna de retorno (TIR), el periodo de recuperación de la inversión, y finalmente la razón beneficio-costos.

El valor actual neto es un procedimiento que permite calcular el valor presente de un determinado número de flujos futuros descontando para cada periodo una tasa de interés. El

criterio implica que si se obtiene un valor positivo se debe aprobar el proyecto en evaluación.

La tasa interna de retorno en términos sencillos es la tasa de interés a la cual el valor actual neto se vuelve cero, de esta forma se puede conocer que el valor de la TIR calculada para el proyecto se compara con la tasa de interés según el criterio de que si es mayor la TIR, el proyecto se debe aprobar.

El periodo de recuperación de la inversión es un criterio sencillo que permite determinar la cantidad de tiempo en que se recupera la inversión realizada para la puesta en marcha del proyecto, incluido el capital de trabajo. Entrega una visión de corto plazo en la cual se empezara a recibir beneficios.

La razón costo beneficio, implica un análisis de los valores ajustados de todos los costos y todos los ingresos de todos los periodos, por lo que entrega un valor que representa la razón entre ambos ítems, considerando factibles de realizar aquellos proyectos cuyo razón es mayor a 1.

Juntos, estos cuatro criterios nos ayudaran a determinar si el proyecto presentado en la presente memoria representa una elección rentable para un inversionista innovador. Anexo a estos criterios, se usara también el punto de equilibrio, para determinar cual es el nivel de producción necesario para obtener beneficios.

### 3.6 Resultados

El uso del criterio del valor actual neto (VAN) plantea que si luego de su calculo, el valor es igual o superior a cero, el proyecto debe aceptarse, donde el VAN es la diferencia entre todos sus ingresos y egresos en moneda actual.

Los resultados obtenidos en el calculo de la VAN en ambos escenarios arrojo valores positivos por los que según este criterio el proyecto debe aprobarse, en ambos escenarios.

Los valores son los siguientes.

VAN Escenario 1	\$92.966.096
VAN Escenario 2	\$302.841.141

Por otra parte se tiene que la tasa interna de retorno (TIR) evalúa el proyecto “en función de una única tasa de rendimiento por periodo con la cual la totalidad de los beneficios actualizados son exactamente iguales a los desembolsos expresados en moneda actual” (Sapag y Sapag, 1996). Y esto se logra usando la misma formula empleada en la VAN pero igualada a cero. De esta forma la TIR calculada luego se compara con la tasa de descuento que se determinó para el proyecto, y el criterio implica que si la TIR es igual o mayor que la tasa de descuento, entonces el proyecto debe aprobarse, por el contrario, si la TIR es menor el proyecto debe rechazarse.

Luego del cálculo se obtuvieron los siguientes valores en ambos escenarios.

TIR Escenario 1	22,7%
TIR Escenario 2	47%

Tal como se menciona, el criterio implica que si la TIR es mayor que el valor de la tasa de descuento el proyecto debe aprobarse, por lo que como se puede apreciar en ambos escenarios se supera al valor de la tasa de descuento que es de 12% por lo que según este criterio, en ambos escenarios al proyecto se debe aprobar.

El tercer criterio de evaluación a usar será el de la determinación del periodo de recuperación de la inversión. A través de un simple procedimiento se logra determinar cuantos son los periodos de tiempo, en este caso años, en los que se recupera la totalidad de la inversión inicial. Para esto se construye la siguiente tabla con los flujos acumulados, los cuales se ajustan a valor actual mediante la tasa de descuento.

Cuadro 19: Flujos acumulados

Escenario 1

Año	Flujo anual	Flujo ajustado	Flujo acumulado
1	13.310.688	11.884.543	11.884.543
2	43.874.753	34.976.684	46.861.227
3	43.874.753	31.229.182	78.090.410
4	36.823.373	23.401.919	101.492.328
5	43.874.753	24.895.713	126.388.041
6	43.874.753	22.228.315	148.616.356
7	43.874.753	19.846.710	168.463.066

Escenario 2

Año	Flujo anual	Flujo ajustado	Flujo acumulado
1	36.822.977	32.877.658	32.877.658
2	82.659.704	65.895.810	98.773.468
3	82.659.704	58.835.545	157.609.012
4	73.029.524	46.411.583	204.020.595

Como se puede apreciar claramente en el anterior cuadro simplificado, en el primer escenario la inversión inicial se recupera luego finalizado el séptimo periodo, ya que la inversión en el primer escenario asciende hasta poco más de ciento cincuenta y dos millones. Por su parte, en el segundo escenario la inversión inicial se recupera en su totalidad luego del tercer periodo, es decir que a partir de cuarto periodo los inversionistas comienzan a percibir beneficios.

Otro criterio a usar será el de analizar la razón beneficio-costos, en los cuales se utilizan los valores ajustados de todos los periodos, de los ingresos y egresos. Estos valores ajustados

se suman para luego formar la razón dividiendo los ingresos por los egresos, con lo cual se obtiene un valor de referencia, los cuales en este caso fueron los siguientes.

RBC  
Escenario 1 1,14093368  
RBC  
Escenario 2 2,1309257

En este criterio se puede claramente apreciar que ambos escenarios presentan una razón sobre uno por lo que según el criterio, en ambos escenarios el proyecto se debe aprobar. Además se debe hacer hincapié en el hecho de que en el segundo escenario el valor es sobre dos por lo que se desprende que los ingresos son el doble de lo que lo son los egresos, incluido la inversión inicial. Esto con horizonte de evaluación de 10 años muestra la alta rentabilidad que presenta el proyecto para los posibles inversionistas.

#### Punto de equilibrio

Es el punto en donde los ingresos totales recibidos se igualan a los costos asociados con la venta de un producto ( $IT = CT$ ). Un punto de equilibrio es usado comúnmente en las empresas/organizaciones para determinar la posible rentabilidad de vender determinado producto.

$$Q^* = \frac{Cf}{(p - Cv)}$$

Donde  $Q^*$  es la cantidad que determina la igualdad de costos e ingresos en este caso corresponden a litros de biodiesel a producir.  $Cf$  corresponde al total de los costos fijos,  $p$  es el precio del producto que se pretende comercializar y finalmente  $Cv$  es el total de los costos variables del proyecto. Su cálculo en la evaluación del proyecto utilizó los siguientes valores ya determinados.

Cuadro 20: valores para el cálculo cantidad de equilibrio.

	Escenario1	Escenario2
Costos fijos	28.923.584,6	28.923.584,6
Costos variables	302,761	246,457
Precio	325	325
$Q^*$	1.300.579,37	368.251,59

Mientras que en el primer escenario se tiene que el cálculo sugiere que se debe producir una mayor cantidad que la propuesta en este proyecto (la diferencia se acerca a los seiscientos mil litros), en el segundo escenario la cantidad de equilibrio es mucho menor que la cantidad producida. Nuevamente se tiene que el segundo escenario es más provechoso, sin embargo hay que considerar que en este cálculo solo se incluye la venta del producto principal, sin considerar que se obtiene un co-producto (glicerol) que también representa ingresos importantes, los cuales fueron considerados en el flujo de caja.



### Conclusiones del flujo

Luego de realizados los cálculos de los criterios utilizados para evaluar el flujo de caja del proyecto es que podemos afirmar que según los valores obtenidos, se generan los flujos suficientes para recuperar la inversión, ganar la rentabilidad exigida y además generar un aumento en la riqueza de los inversionistas. Cabe destacar que esto es aun mayor en el caso del segundo escenario donde se obtienen valores de VAN muy superiores a cero y la TIR es de 47%, además la inversión se recupera en el tercer año y se puede constatar que los ingresos solo por concepto de venta de biodiesel, superan los gastos que genera el proyecto. Bajo estos criterios el proyecto en ambos escenarios debe aprobarse. A continuación se presentan los flujos de caja de ambos escenarios.









## Sensibilización

Se realizó una sensibilización para determinar que tan vulnerable es el proyecto a distintas modificaciones en los factores que lo determinan. Así, se pensó en primer lugar en una disminución de los ingresos debido a una reducción de un 20% del precio de venta del biodiesel, es decir, que el precio se reduce de \$325 a \$260. Tal como lo demuestra el cuadro resumen, si bien el segundo escenario soporta la reducción de los ingresos y aún se puede mencionar que el proyecto es rentable, el primer escenario no soporta la disminución y dentro del cálculo se obtiene un VAN negativa, así como la TIR es inferior a 12% de la tasa de descuento.

Por otra parte el aumento del costo en un 20% si bien afecta y produce que los valores sean menores, aun se puede apreciar que se obtienen valores positivos, es decir que se recomienda aprobar el proyecto.

En resumen se puede apreciar que el proyecto es más sensible a la variación de los ingresos que a los costos. Por lo tanto de obtenerse valores mayores de venta se obtendrían mayores beneficios, y por otro lado de aumentar los costos no necesariamente significaría un riesgo para la realización del proyecto.

El siguiente es el cuadro resumen de la sensibilización realizada al proyecto.

Cuadro 21: Resumen de sensibilización.

	VAN(\$)	TIR(%)
Escenario 1	92.966.096	22,7
Escenario 2	302.841.141	47
Sensibilización Precio1	-110.780.648	-2
Sensibilización Precio2	99.094.397	24,2
Sensibilización Costo1	74.936.958	19,9
Sensibilización Costo2	131.853.762	26,3

### 3.7 Evaluación social de proyectos

La evaluación social de proyectos busca acercar a la realidad los distintos factores que se ven involucrados en la realización de una inversión. Tanto de los costos, como de los beneficios. Para esto es necesario realizar ciertas correcciones a los factores usados habitualmente, debido a la presencia de impuestos, subsidios, efectos indirectos y externalidades. Dichas son las razones que nos llevan a modificar los precios de mercado, para poder así entregar el valor social de los bienes y servicios involucrados en un proyecto de inversión.

En esta sentido, en nuestro país, el encargado de entregarnos información social para poder realizar las correcciones necesarias a las evaluaciones de proyecto es MIDEPLAN, el cual entrega información acerca de los tres valores sociales más usados: de la divisa, del capital (tasa social de descuento) y de la mano de obra.

#### Precio Social de la Mano de Obra

Se considera como precio social del trabajo, el costo marginal en que incurre la sociedad por emplear un trabajador adicional de cierta calificación (calificado, semi calificado y no calificado). La diferencia entre precio social y privado de la mano de obra, está dada principalmente por la del desempleo y las cotizaciones previsionales, además del impuesto al trabajo. Al igual que la divisa, lo que se aplica es un factor de corrección de la mano de obra, los cuales, vigentes hasta el año 2008 son:

Mano de obra Calificada: 0,98

Mano de obra Semi calificada: 0,68

Mano de obra No calificada: 0,62

#### Precio Social de la Divisa

La discrepancia entre el costo social de la divisa y el costo privado se origina si la economía valora una divisa adicional en más o menos de lo que efectivamente le cuesta en términos de recursos productivos sacrificados. La causa de esta discrepancia es la existencia de distorsiones en la economía, especialmente en los sectores de bienes y servicios transables internacionalmente (aranceles y/o subsidios).

Lo que se aplica en la práctica es el factor de corrección de la divisa, el cual se va recalculando periódicamente mediante la actualización de los parámetros principales, en particular aquellos que son afectados por las iniciativas de liberalización comercial relevantes para Chile.

Actualmente, al factor es 1,01, el cual es muy bajo debido a la apertura de nuestra economía y al bajo nivel de las distorsiones existentes en el comercio exterior.

#### Precio Social del Capital (Tasa Social de Descuento)

La tasa social de descuento representa el costo en que incurre la sociedad cuando el país utiliza recursos para financiar todos los proyectos llevados a cabo.

Estos recursos provienen de las siguientes fuentes: de menor consumo (mayor ahorro), de menor inversión privada y del sector externo. Por lo tanto, depende de la tasa de preferencia intertemporal del consumo, de la rentabilidad marginal del sector privado y de la tasa de interés de los créditos externos.

Actualmente, la tasa social de descuento es un 8%. Este valor fue calculado en el estudio "Actualización de la Tasa Social de Descuento Chile", realizado para MIDEPLAN por el Departamento de Ingeniería Industrial de la Universidad de Chile.

Por lo tanto, para acercar a la esfera social la realización de este proyecto de inversión es que se realizaran correcciones a los factores ya usados, con los factores sociales ya presentados anteriormente y se procederá a hacer una nueva evaluación financiera.

Dicha evaluación arroja los siguientes resultados.

Cuadro 22: VAN y TIR de la evaluación social

Parámetros	Evaluación financiera		Evaluación Social	
	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 1	Escenario 2
VAN	\$ 92.966.096	\$ 302.841.141	\$ 184.982.576	\$ 431.579.296
TIR	22,70%	47,10%	26,20%	51,10%

Tal como se puede apreciar en el cuadro anterior los valores de los indicadores más importantes usados en la evaluación presentaron un importante incremento en comparación a los valores arrojados por la evaluación financiera. Esto se debe principalmente debido a que la tasa social de descuento es sustancialmente menor a la utilizada en la evaluación financiera, ya que en el sector privado se exigen mayores estándares en los criterios de evaluación. En este sentido no quiere decir que se esperen menores retornos, sino que bajo las correcciones realizadas se buscan otro tipo de beneficios relacionadas con la esfera social.

Por otra parte cabe señalar que el valor social de la divisa no influyó mayormente en la realización de la evaluación social, principalmente debido al bajo factor de corrección que entrega el MIDEPLAN, el cual es de 1,01. y por otra parte debido también a que el proyecto no presente ítems importantes en divisa extranjera.

Como conclusión de la evaluación social se puede apreciar que en ambos escenarios es recomendable realizar el proyecto y que se puede esperar que presente importantes beneficios. Además se puede decir que el proyecto tiene importancia social ya que si bien se trata netamente de un proyecto privado, tiene implicancia en la matriz energética y en el abastecimiento energético, puntos importantes en la economía de la población.

#### **4 Conclusiones**

Para lograr realizar una evaluación de la instalación de una planta de producción de biodiesel, se necesitó de analizar cada componente que determina la factibilidad de realizar dicho proyecto. De esta manera se separó entre la parte técnica del desarrollo de una industria de este tipo y la parte propiamente económica y financiera de la puesta en marcha de un proyecto de la envergadura que se planteó. De la misma manera se realizaron conclusiones preliminares por separado para luego evaluar en forma integral la factibilidad de la instalación de una planta de producción de biodiesel.

Preliminarmente se debe entender que los insumos seleccionados para la producción, fueron seleccionados mediante el análisis a las publicaciones existentes principalmente en EE.UU. contrastándolo con la realidad nacional, así, aquellos elementos elegidos representan la optimización de la producción, según la bibliografía existente.

Desde el punto de vista técnico estos insumos presentan el mejor desempeño para la producción, alcanzando rendimientos de hasta un 97%, y se encuentran disponibles en cantidad, frecuencia y calidad, en los mercados nacionales. En lo que respecta a la tecnología necesaria para la producción, esta no se encuentra desarrollada actualmente en el país, sin embargo sí se encuentra en países de la región, de los cuales se analizó la alternativa de Argentina debido a la cercanía que disminuye los costos de traslado. La tecnología se adapta completamente a la realidad nacional en lo que respecta a estándares técnico de calidad, requerimientos energéticos y mantenimiento, por lo que se puede



concluir que desde el punto de vista técnico, el proyecto de desarrollar una planta de producción de biodiesel es completamente viable.

En el mundo, principalmente en Europa, los biocombustibles están ampliamente desarrollados. La capacidad de producción y los mercados que rigen a estos productos indican que este tipo de combustible es una opción viable como alternativa energética.

Un pequeño análisis realizado al marco legal que se proyecta, permite determinar que desde el punto de vista tributario, el proyecto no presenta dificultades ni restricciones importantes. Mientras que en la parte que rige los estándares de calidad del producto, la planificación de la tecnología del presente proyecto, así como la elección de los insumos y del proceso productivo a usar es que se puede declarar que el proyecto cumplirá con los requisitos de calidad que se proyectan que impondrá la institucionalidad Chilena.

Desde el punto de vista económico y financiero, luego de la evaluación del flujo de caja puro, se determinó que el proyecto es completamente rentable, en ambos escenarios señalando, sin embargo que en el segundo escenario la rentabilidad que se logra es mucho mayor que en el primer escenario. La mayor limitante es sin duda el precio del aceite de raps, el cual debido al reducido número de productores en la actualidad es que no permite mantener precios competitivos, sin embargo esto se debe a que no existía un mercado demandante importante para este producto, situación que en los últimos tres años a cambiado debido a la utilización del aceite en la industria salmonera.

Tal como se aprecia en el segundo escenario, al reducir el costo del aceite a la mitad la rentabilidad aumenta considerablemente, por lo que de desarrollarse un proyecto de este tipo dependería en gran medida del precio que se obtenga del aceite de raps, ya que es poco probable de que en el futuro el precio del aceite reciclado sea cero ya que la competencia y la posibilidad de obtener beneficios de un desecho, convertirán en una importante alternativa el vender este desecho como materia prima para la producción de biodiesel.

Es necesario considerar también que la rentabilidad del proyecto también se ve profundamente afectada por la posibilidad de vender el glicerol como co-producto, lo que en el caso del mercado chileno es completamente factible debido a que no existen gran cantidad de oferentes de este producto a la industria farmacéutica, la cual se ve obligada a importar gran cantidad del total requerido. Es necesario puntualizar en este factor debido al ejemplo de Alemania, primer productor mundial de biodiesel, donde la producción de glicerol de la industria de dicho país es, en su totalidad, mayor a la demanda mundial de dicho producto. Lógicamente no es el caso chileno, sin embargo se debe considerar en caso de iniciar el proyecto en un negocio que necesariamente es a largo plazo.

En definitiva, dadas las condiciones actuales, tanto técnicas como financieras y del marco legal que se proyecta, el proyecto es viable y muy rentable. Sin embargo se recomienda que luego de cumplido del plazo determinado en esta proyecto como horizonte de evaluación, se realice una nueva evaluación para determinar si las nuevas condiciones presentes en el mercado, modifican de manera importante los resultados obtenidos en la evaluación realizada en la presente memoria.

## 5 Bibliografía

Acevedo E. Agroenergía: un desafío para Chile. Serie Ciencias Agronómicas n° 11. Universidad de Chile, 2006. 176p.

Biofuels research advisory council, 2006. Biofuels in the European Union: a version for 2030 and beyond. Advisory council of the European Parliament. 32p.

Cáceres D. A.A., Vicencio D. G.A., 2006. Estudio de prefactibilidad de la instalación de una planta de biodiesel en Chile. Memoria Ingeniería Comercial. Facultad de Economía y Negocios.

Charles M.B., Ryan R., Ryan N., Oloruntoba R., 2007. Public policy and biofuels: the way forward?. *Energy Policy* 35 (2007): 5737-5746.

Commission of the European Communities, 2007. Report on the progress made in the use of biofuels and other renewable fuels in the Member States of the European Union. Communication from the commission to the council and the European parliament. 16p.

Cuellar M., 2005. Avances y perspectivas de la producción de biodiesel a partir de aceites de palma en Colombia. FEDEPALMA. Disponible en <http://www.galeon.com/separacionfrutos/biodieselpalma.pdf>

Frondel M., Peters J., 2007. Biodiesel: a new oilorado?. *Energy Policy* 35 (2007): 1675-1684.

<http://www.agricultura.gov.br>. Pagina web del Ministerio de Agricultura Brasileño. Visitada por ultima vez el 11 de octubre de 2007.

<http://www.astm.org>. Pagina web de la American Society for testing and Materials. Visitada por ultima vez el 3 de abril de 2007.

[http://www.eere.energy.gov/afdc/pdfs/afpr\\_oct\\_06.pdf](http://www.eere.energy.gov/afdc/pdfs/afpr_oct_06.pdf). Pagina con información acerca del mercado norteamericano de biocombustibles. Visitada ultima vez el 14 octubre 2007.

<http://www.iea.org>. Pagina web de la Agencia Internacional de Energía. Visitada por última vez el 17 de noviembre de 2007.

<http://www.maa.gba.gov.ar>. Pagina web del Ministerio de Asuntos Agrarios de Argentina. Visitada por ultima vez el dia 7 de enero de 2008.

<http://www.sii.cl/pagina/jurisprudencia/adminis/2004/ventas/ja716.htm>. Pagina del servicio de impuestos internos pronunciándose acerca de los biocombustibles. Visitada por última vez el 20 de agosto de 2007.

Garcia J.M., Laborda J.A., 2007 Biocarburantes líquidos: biodiesel y bioetanol. Cítme. CIEM. Comunidad de Madrid. Madrid. 125 p.

INTRACOP, 2007. Estudio de factibilidad de la producción nacional de biodiesel. Informe Final para el Gobierno de Panamá elaborado por la consultora INTRACOP. 168p.

Marchetti J.M., Miguel V.U., Errazu A.M., 2007. Possible methods for biodiesel production. *Renewable and Sustainable Energy Review* 11 (2007): 1300-1311.

Ministerio de Economía de España, 2003. Real Decreto 1700/2003 del 15 de diciembre: Fijación de especificaciones para uso de biocarburantes. Gobierno de España. 21p.

Plinio M. N., 2005. Tendências mundiais para o uso do etanol. Publicaciones PETROBRAS. 67p.

Reyes S. J., 2003. Investigación para la producción de biodiesel a partir de aceites y ácidos grasos comestibles. Memoria Ciencias Químicas. Facultad de Ciencias Químicas y Biológicas.

Sapag C., Sapag N., 2003. Preparación y evaluación de proyectos. Mc-graw Hill Interamericana. Santiago, Chile. 437p.

Szwarc A., 2004. Perspectivas para o mercado do álcool no Brasil. Publicaciones PETROBRAS 74p.

UFOP, 2007. Biodiesel in Germany 2006: Trends and Markets. UNION ZUR FÖRDERUNG VON OEL-UND PROTEINPFLANZEN E. V., Version del 03/07. 11p.

van Kasteren J.M.N., Nisworo A.P., 2007. A process model to estimate the cost of industrial scale biodiesel production from waste cooking oil by supercritical transesterification. *Resources, conservation and recycling* 50 (2007): 442-458.

Zhang Y., Dubé M.A., Maclean D.D., Kates M., 2003. Biodiesel production from waste cooking oil: economic assessment sensitivity analysis. *Bioresource technology* 90 (2003): 229-240.

## 6 Anexos

### Anexo N° 1

#### ***Proyecto de ley sobre el fomento al uso de biocombustibles.***

#### ***Presentado por los honorables senadores, señores:***

Chadwick, Coloma, Gómez, Orpis y Pérez Várela.

*Artículo 1.- Disposición de uso. El diesel y la gasolina utilizada en el sector transporte que se expendan a público en estaciones de servicios, o en venta de volúmenes mayores directamente a estanques de almacenaje de operarios del rubro transporte, deberá contener un porcentaje mínimo obligatorio de biocombustibles. El contenido mínimo de biodiesel en el diesel será de un 5% y el contenido mínimo de etanol en las gasolinas será de un 5%.*

*Artículo 2.- Definición de normas. La definición de los parámetros de los biocombustibles en forma pura, y la en mezcla resultante, serán fijados por decreto. La norma definirá los biocombustible a través de sus componentes y sus características físico-químicas y determinará los parámetros máximos y mínimos que deberán tener los combustibles que resulten de las mezclas con biocombustibles, de acuerdo a lo establecido en el artículo 1°.*

*Artículo 3.- Fiscalización. El sistema de producción, transporte y comercialización de biocombustible se regirá por las mismas normas y reglamentos indicados para los combustibles fósiles y derivados del petróleo y será fiscalizada por los organismos pertinentes encargados de cada materia involucrada en la cadena que va desde la producción a la comercialización en detalle a público.*

*Artículo 4.- Calendario de aplicación biodiesel. El uso obligatorio de biodiesel tendrá una escala gradual de aplicación que será la siguiente:*

<i>Año</i>	<i>Porcentaje de uso obligatorio</i>	
<i>2010</i>	<i>2</i>	<i>Volumen/Volumen</i>
<i>2011</i>	<i>3</i>	<i>Volumen/Volumen</i>
<i>2012</i>	<i>4</i>	<i>Volumen/Volumen</i>
<i>2013</i>	<i>5</i>	<i>Volumen/Volumen</i>

*Artículo 5.- Calendario de aplicación etanol. Para el uso obligatorio de etanol se aplicará el siguiente calendario de aplicación.*

<i>Año</i>	<i>Porcentaje de uso obligatorio</i>	
<i>2010</i>	<i>5</i>	<i>Volumen/Volumen</i>

*Artículo 6.- Reconocimiento a la sustitución: Se establecerá un reconocimiento a la sustitución de importación de combustibles basados en carbono fósil realizado por cultivos*

*dedicados a obtener biocombustibles en el país. Este reconocimiento valorará especialmente a los biocombustibles que se produzcan con granos comprobadamente de origen nacional. Para estos efectos, el elaborador de biocombustible deberá demostrar el origen del grano con la facturación de compra, lo que dará origen a un volumen de biocombustible producido que se trasladará en la cadena hasta el distribuidor minorista. Los parámetros para esta aplicación serán fijados por decreto.*

*Artículo 7.- Fondo de investigación. Con el fin de acrecentar los conocimientos referentes a los cultivos, los subproductos y los procesos industriales involucrados en los biocombustibles, se creará un fondo especial para investigación. Podrán postular a él en forma conjunta centros de investigación privados o públicos y empresas o particulares, que desarrollen su actividad en algún aspecto del rubro.*

*Artículo 8.- Apoyo de infraestructura. Para ayudar a los agricultores cuya facturación anual sea inferior a las UF 5.000 se otorgará un reintegro parcial de los gastos realizados en la construcción de infraestructura predial para el acondicionamiento y almacenaje de granos.*