

Universidad Técnica Federico Santa María
Departamento de Industrias
Centro Avanzado de Gestión, Innovación y Tecnología para la Agricultura

Informe Final

**Evaluación y Sensibilización de Estudios Técnico-Económicos
Respecto al Potencial de Biocombustibles en Chile.**

Santiago, 13 de Junio de 2007

Prólogo

El presente documento presenta los resultados de la consultoría encargada por la Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA) del Ministerio de Agricultura al Departamento de Industrias de la Universidad Técnica Federico Santa María (UTFSM), a través de su Centro Avanzado de Gestión, Innovación y Tecnología (CATA), cuyo objetivo fue la sensibilización de los principales supuestos establecidos en el Estudio “Evaluación del Potencial Productivo de Biocombustibles en Chile con Cultivos Agrícolas Tradicionales” ejecutado por la propia UTFSM, de manera de complementar la información disponible para la definición de las políticas públicas respecto a la producción de biocombustibles en el país.

Los autores desean agradecer a su contraparte técnica de ODEPA, por sus valiosos aportes y sugerencias durante el desarrollo del estudio.

Los autores,

Rodrigo Ortega B.	Ing. Agrónomo, PhD
Roberto Muñoz L.	Ing. Civil Matemático, PhD en Economía
Luis Acosta E.	Bachiller en Inv. Operativa, Dr. Ciencias Ingeniería
Carlos Muñoz P.	Egresado Ing. Civil Industrial

Santiago, 13 de Junio de 2007.

Índice

Introducción	4
1 Resumen de los principales supuestos técnico-económicos para la estimación del potencial de producción de biocombustibles.....	5
2 Análisis de sensibilidad para etanol y biodiesel.	7
2.1 Variación de los principales factores de costo.....	7
2.2 Precio del grano v/s factores de conversión del grano en biocombustible.....	10
2.3 Montos de inversión v/s factores de extracción.....	13
2.4 Costo y tipo de combustible	15
3 Estimación de los precios equivalentes.....	16
4 Sacrificio fiscal potencial por eliminación del impuesto específico	21
5 Localización de plantas en función de distintos escenarios de demanda.....	22
6 Análisis de sensibilidad de la rentabilidad de los cultivos a las variaciones de precio del grano a nivel de productor agrícola.	35
7 Impacto social de la producción de biocombustibles.....	36
7.1 Estimación de la mano de obra a utilizar en la industria de los biocombustibles.	36
7.2 Hectáreas de cultivos bioenergéticos producidas por la pequeña agricultura.	38
8 Conclusiones	40
9 Referencias.....	42

Introducción

La Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA) del Ministerio de Agricultura, junto a otras reparticiones del Estado, ha venido generando antecedentes en relación al potencial de producción de biocombustibles en Chile, a través de estudios propios, estudios licitados y el contacto directo con empresas privadas y organizaciones que han realizado algún estudio de prefactibilidad o han mostrado interés en la producción de etanol y biodiésel en base a distintos cultivos agrícolas. Debido a la diversidad de antecedentes, generados a partir de distintos supuestos, ODEPA requiere evaluar, sistematizar y sensibilizar la información disponible, para generar un documento único que pueda servir de base para el diseño de la política pública en relación al tema.

Para el efecto, ODEPA ha contratado la consultoría “Evaluación y Sensibilización de Estudios Técnico-Económicos Respecto al Potencial de Biocombustibles en Chile” con el Departamento de Industrias de la Universidad Técnica Federico Santa María (UTFSM), a través de su Centro Avanzado de Gestión, Innovación y Tecnología para la Agricultura.

El estudio tiene como objetivo principal sensibilizar los resultados del estudio de base titulado “Evaluación del Potencial Productivo de Biocombustibles en Chile con Cultivos Agrícolas Tradicionales”, contratado por la Comisión Nacional de Energía (CNE), la Fundación para la Innovación Agraria (FIA) y ODEPA, y ejecutado por la propia Universidad Técnica Federico Santa María, con nuevos escenarios de precios de materias primas e insumos, factores de conversión y montos de inversión, entre otros, identificados por ODEPA y la UTFSM en sus contactos con los distintos actores que potencialmente participarían en el negocio de biocombustibles a nivel nacional.

El presente documento resume los resultados de dicha consultoría, los que son complementarios a aquellos del documento base. Cabe señalar que este último debe consultarse necesariamente si se desea conocer detalles respecto a los modelos utilizados o supuestos no sensibilizados en el presente estudio.

1 Resumen de los principales supuestos técnico-económicos para la estimación del potencial de producción de biocombustibles.

Para un adecuado estudio de sensibilidad, es necesario, en primer término, identificar cuales son los supuestos que presentan mayor incertidumbre en opinión de los distintos actores entrevistados y los antecedentes de literatura disponibles. Dado que en Chile no existen aún plantas en operación, las estimaciones de costo de biocombustibles a salida de planta deben necesariamente hacerse en base a dichos supuestos.

En la presente sección se presenta un resumen de los rangos de valores de los principales supuestos para la evaluación del potencial de producción de biocombustibles en Chile. Los valores fueron obtenidos de la revisión de antecedentes de literatura, la conversación directa con agentes privados y públicos y la evaluación de proyectos de prefactibilidad disponibles. Al respecto, solo se dispuso de un proyecto privado en biodiésel (Quiroz, 2007), además de una cotización oficial de la Empresa Belga De Smet, para una planta de biodiésel de aproximadamente 124.000 m³/año de capacidad. En la mayoría de los casos los rangos de valores fueron obtenidos desde la literatura internacional y los aportes de organizaciones públicas y privadas, reunidas en el Comité Público-Privado, coordinado por ODEPA.

El rango de valores de los supuestos obtenidos para la evaluación de la factibilidad de producción de etanol se presenta en la Tabla 1.1. Se observa que las mayores dispersiones ocurren en términos de los factores de conversión en planta, inversión inicial y precio de las materias primas. En términos del factor de conversión en planta, la dispersión observada puede deberse a variados factores, siendo los más relevantes el proceso utilizado (molienda seca versus húmeda) y la variedad o híbrido procesado. Cabe señalar además que, dentro de un cierto rango, existe una relación directa entre la tasa de conversión en planta y la inversión inicial. En el estudio original de la Universidad Técnica Federico Santa María se seleccionaron aquellos supuestos más conservadores, de manera de establecer la línea base de los costos de producción de etanol. Sobre esta primera aproximación es posible el análisis de distintos escenarios, los cuales se presentan más adelante en el estudio.

En el caso de biodiésel, los supuestos más inciertos fueron aquellos relacionados con la inversión inicial y el precio de la materia prima (Tabla 1.2). Al respecto, la inversión inicial está directamente relacionada con la tasa de conversión de semilla a biodiésel en planta, pues ésta depende de la proporción de aceite que puede ser extraído del grano a través de prensado y la utilización de solventes orgánicos. En el estudio original de la Universidad Técnica Federico Santa María, se asumieron valores intermedios de extracción de aceite, relacionados a un nivel de inversión más bien elevado, cercano a los máximos establecidos para una planta llave en mano de manufactura europea (De Smet, 2006). En el presente estudio, se establecieron los precios de equilibrio para biodiésel bajo combinaciones factibles entre niveles de conversión en planta e inversión inicial.

Tabla 1.1				
Rango de valores para los principales supuestos para la evaluación de la factibilidad de producción de etanol en Chile.				
Variable	Unidades	Promedio ¹	Mínimo	Máximo
Precio grano	US\$/kg			
• Trigo		0,223	0,209	0,237
• Maíz		0,168	0,152	0,184
• Arroz		0,197	0,175	0,219
Factor de conversión	L/kg			
• Trigo		0,28	0,28	0,40
• Maíz		0,37	0,37	0,46
• Arroz		0,28	0,28	0,40
Inversión planta	MMUS\$			
• 80.000 m ³ /año		54,2	43,9	54,9
• 100.000 m ³ /año		67,7	58,5	73,2

Fuente: Universidad Técnica Federico Santa María - CATA. Abril, 2007.
¹ Utilizado en estudio "Evaluación del Potencial Productivo de Biocombustibles en Chile con Cultivos Agrícolas Tradicionales" como escenario promedio.

Tabla 1.2				
Rango de valores para los principales supuestos para la evaluación de la factibilidad de producción de biodiésel en Chile.				
Variable	Unidades	Promedio ¹	Mínimo	Máximo
Precio grano	US\$/kg			
• Maravilla		0,283	0,262	0,304
• Raps		0,274	0,219	0,329
Factor de conversión	L/kg			
• Maravilla		0,44	0,38	0,46
• Raps		0,42	0,36	0,44
Inversión planta	MMUS\$			
• 40.000 m ³ /año		17,9	15,0	20,0
• 60.000 m ³ /año		24,3	22,5	30,0

Fuente: Universidad Técnica Federico Santa María - CATA. Abril, 2007.
¹ Utilizado en estudio "Evaluación del Potencial Productivo de Biocombustibles en Chile con Cultivos Agrícolas Tradicionales" como escenario promedio.

2 Análisis de sensibilidad para etanol y biodiésel.

En esta sección se realiza un análisis de sensibilidad de los precios de equilibrio ante cambios en los principales parámetros considerados en la evaluación. Se entenderá por precio de equilibrio de un biocombustible aquel precio que financia los costos de producción más un 12% de retorno al proyecto puro a nivel de planta.

Los análisis fueron realizados con respecto a:

- Cambios en los principales insumos que determinan el costo de producción de biocombustibles.
- Cambios en el precio del grano y factores de conversión de las materias primas.
- Cambios en los montos de inversión y factores de conversión de las materias primas.¹
- Reemplazo del gas natural por gas propano en plantas de etanol y biodiésel.

2.1 Variación de los principales factores de costo

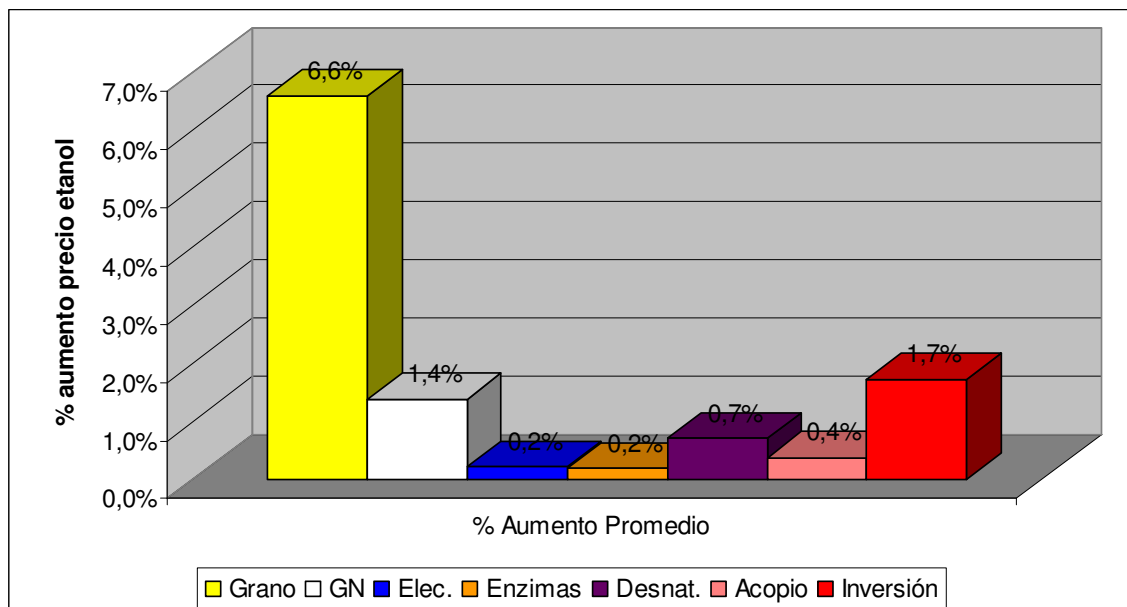
El análisis se centra en el impacto que una variación en el costo de los principales factores de producción tiene sobre el precio de los biocombustibles a salida de planta. Los factores seleccionados para el análisis corresponden a los más importantes dentro de cada ítem de costos. Se analizaron cinco escenarios de variación de éstos, asociados a aumentos de un 5%, 10%, 20%, 30% y 45% sobre el valor base usado para evaluación.² En el caso de etanol se considero una producción a partir de maíz a un precio base de US\$ 168/ton y una planta de capacidad de 100.000 m³/año, mientras que en el caso de biodiésel se consideró raps como materia prima a un precio de US\$ 274/ton y una planta de capacidad de 60.000 m³/año.

La Figura 1 detalla los factores seleccionados en el caso de etanol y los resultados obtenidos con un aumento del 10% en el costo de éstos. Como se puede observar, el precio del grano de maíz es el factor más importante en la determinación del precio de etanol, ya que ante un aumento de éste en un 10%, el precio del etanol aumenta en un 6,6%. Es decir, la elasticidad precio etanol a precio del maíz a salida de planta es de 0,66.

¹ Típicamente este análisis de sensibilidad debiera realizarse exclusivamente en función de los factores que afectan los costos marginales y no así los costos fijos, pues éstos normalmente no afectan el precio final de un producto. Sin embargo, se asume aquí que el Estado licita la producción de biocombustibles en un escenario en que existe una demanda relativamente inelástica, razón por la cual un aumento en los costos inversión puede afectar el precio final del producto. En ausencia de licitaciones el precio final de los biocombustibles surgiría de un equilibrio en un mercado poco competitivo y por lo tanto, muy probablemente el retorno de las plantas superaría el 12%.

² Para una descripción completa de los escenarios base de evaluación ver estudio “Evaluación del Potencial Productivo de Biocombustibles en Chile con Cultivos Agrícolas Tradicionales” del CATA, Universidad Técnica Federico Santa María,

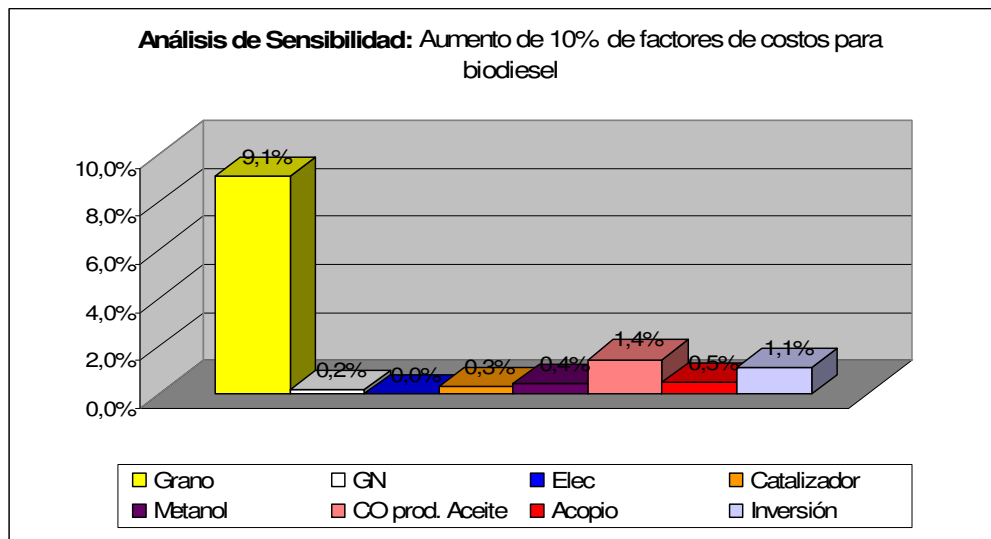
Figura 1. Variación del precio de etanol a base de maíz a salida de planta ante el aumento del 10% del valor de los principales factores de costo de producción.



Fuente: Universidad Técnica Federico Santa María - CATA. Abril 2007.

La Figura 2 muestra los resultados de un análisis análogo para la planta tipo de biodiésel considerada. Se detallan los factores seleccionados y los resultados obtenidos ante un aumento del 10% en el costo de éstos. Como se puede observar ante un aumento del 10% del precio del grano de raps, el precio del biodiésel aumenta en un 9,1%. Es decir, la elasticidad precio biodiésel, a salida de planta, a precio del raps es de 0,91. Se observa que, al igual que en el caso del etanol, el costo de la materia prima es el factor de mayor impacto en el precio del biodiésel.

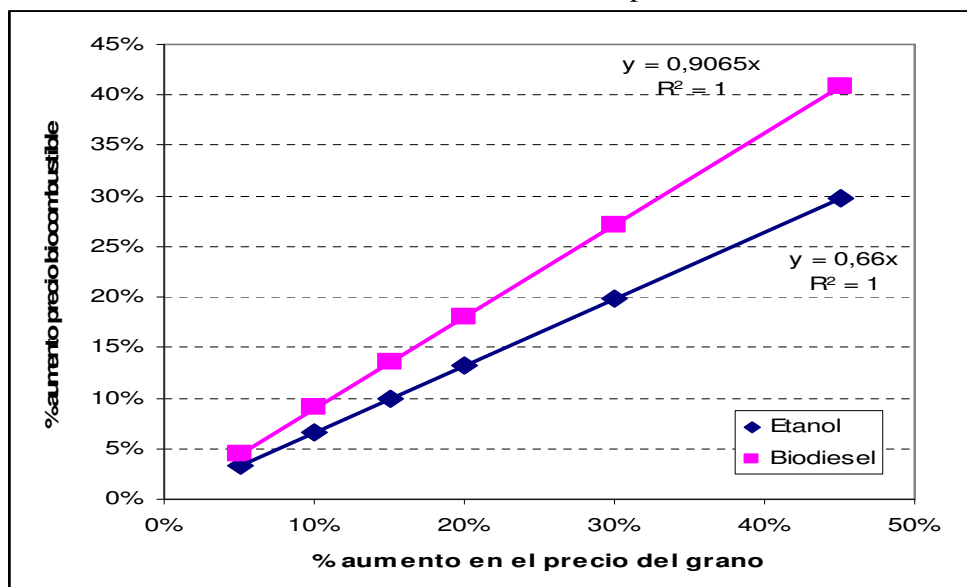
Figura 2. Variación del precio de biodiésel a base de raps a salida de planta ante el aumento del 10% del valor de los principales factores de costo de producción.



Fuente: Universidad Técnica Federico Santa María - CATA. Abril 2007.

La Figura 3 muestra el impacto relativo del precio del grano sobre cada biocombustible. La gráfica muestra que, si bien el costo de producción de ambos biocombustibles es fuertemente dependiente del precio del grano, en el caso del biodiésel la dependencia es aún mayor a la del etanol.

Figura 3. Efecto del aumento del precio de la materia prima sobre el precio de biocombustibles a salida de planta.



Fuente: Universidad Técnica Federico Santa María - CATA. Abril 2007.

2.2 Precio del grano v/s factores de conversión del grano en biocombustible.

No sólo el costo de los insumos es relevante en la definición de un precio de equilibrio para los biocombustibles, sino también otros factores de tipo técnico que impactan la eficiencia con la cual los insumos son transformados en el producto final. Una medida resumen de estos elementos es sin duda el factor de conversión.

El factor de conversión puede afectarse ya sea debido a mejoras en el proceso de producción, como también a mejoras en los insumos, por ejemplo, mejor calidad de granos suministrados o nuevas variedades. Así, no es necesariamente cierto que este factor sea independiente del precio del grano, por lo que se decidió realizar una sensibilización conjunta.

Para evaluar el impacto del factor de conversión sobre los precios finales de biocombustibles, se consideraron tres escenarios de precio para cada uno de los granos con posibilidades de ser usados como materia prima para la elaboración de biocombustibles y distintos factores de conversión para plantas de 100.000 y 60.000 m³/año para etanol y biodiésel, respectivamente.

Los escenarios de precio se construyeron a partir de la información detallada en la Tabla 2.1, estos son: un escenario promedio, uno optimista (promedio menos una desviación estándar) y otro pesimista (promedio más una desviación estándar), entendiéndose que, en este caso, el carácter optimista o pesimista del escenario se define desde la perspectiva de la planta y no desde aquella del productor agrícola. Así por ejemplo, en un escenario pesimista (que sería un mayor costo desde el punto de vista de la industria), el precio del grano de maíz alcanzaría a US\$ 184/ton y para el raps sería de US\$ 329/ton (Tabla 2.2 y 2.3, respectivamente).

Tabla 2.1 Precios de granos para la evaluación económica de los biocombustibles (US\$/kg)					
Indicador	Cultivo				
	Arroz	Maíz	Trigo	Maravilla	Raps
Precio promedio 1997-2006	0,197	0,168	0,223	0,283	0,274
Desviación estándar	0,022	0,016	0,014	0,021	0,055
Coefficiente de variación (%) ³	11,17	9,52	6,28	7,42	20,07
Fuente: Universidad Técnica Federico Santa María - CATA, en base a información de ODEPA. Diciembre 2006.					

A partir del cruce de estos precios con los distintos factores de conversión en planta considerados, se generaron distintos escenarios en los que se evaluó cual sería el precio de venta del biocombustible necesario para generar una tasa de retorno del proyecto puro de

³ El cociente de variación se define en estadística como el cociente entre el valor promedio de una variable y su desviación estándar.

un 12%. En la Tabla 2.2 se presentan los resultados obtenidos para etanol. El análisis se realizó para cada materia prima (maíz, trigo y arroz) por separado.

Tabla 2.2			
Análisis de sensibilidad: Precios competitivos para etanol (US\$/L) a distintos escenarios de precios del grano y conversión en planta.			
Conversión en Planta L/kg	Planta 100.000 m ³ /año		
	Precio Optimista	Precio Promedio	Precio Pesimista
Maíz	0,152 US\$/kg	0,168 US\$/kg	0,184 US\$/kg
0,37	0,649	0,693	0,737
0,40	0,626	0,666	0,706
0,43	0,606	0,643	0,681
0,46	0,588	0,623	0,658
Trigo	0,209 US\$/kg	0,223 US\$/kg	0,237 US\$/kg
0,28	0,947	0,996	1,048
0,32	0,871	0,913	0,959
0,36	0,811	0,849	0,889
0,40	0,764	0,798	0,834
Arroz	0,175 US\$/kg	0,197 US\$/kg	0,219 US\$/kg
0,28	0,825	0,903	0,983
0,32	0,764	0,832	0,902
0,36	0,716	0,777	0,839
0,40	0,678	0,733	0,789

Fuente: Universidad Técnica Federico Santa María - CATA. Abril, 2007.

Se observa que la alta sensibilidad del precio de equilibrio del etanol a los cambios en el precio de su principal insumo, no es una propiedad exclusiva de la producción a base de maíz, sino que se satisface cualquiera sea el grano seleccionado para su elaboración.

Un cambio del precio promedio del maíz en cualquier dirección (ya sea a precio optimista o pesimista), corresponde a un cambio porcentual en el precio del insumo igual al coeficiente de variación de la Tabla 2.1, esto es un 9,52%. Ello provoca una variación en torno al 6% en el precio del etanol para mantener una rentabilidad del 12%, para cualquier factor de conversión considerado. Por ejemplo, si se toma la situación base utilizada para la evaluación, esto es un factor de extracción de 0,37 L/kg y un precio del maíz de 0,168 US\$/kg, y se cambia a un escenario optimista (precio de 0,152 US\$/kg), se observa una disminución del 6,35% del precio del etanol. Ahora si se considera un factor de extracción de 0,43 L/kg y se cambia a un escenario optimista se tiene una disminución de 5,75% del precio del etanol y en un escenario pesimista un aumento del 5,91%.

En el caso del trigo como insumo de la planta, un cambio de su precio en cualquier dirección provoca una variación en torno al 5% en el precio del etanol, lo que es consistente con una elasticidad del precio del etanol al precio del grano de trigo del orden de 0,8 (que

se calcula como: % Variación en precio etanol / CV precio del grano, es decir 5/6,28). Por su parte, en el caso del arroz se produce un cambio de alrededor de un 8% en el precio del etanol, lo que es consistente con una elasticidad del orden de 0,72 (que es igual a 8/11,17).

Para analizar el impacto de un cambio en el factor de conversión se considera como situación base un factor de 0,37 para el maíz y de 0,28 para el arroz y trigo. En la Tabla 2.2 se observa que, a cualquier nivel de precio de la materia prima, un cambio de este factor cuando el insumo es maíz provoca variaciones en torno al 4% del precio del etanol, lo que es consistente con una elasticidad precio etanol al factor de conversión de alrededor de -0,45. En el caso de usar trigo como materia prima una variación en el índice de conversión provoca cambios en el precio del etanol entre un 6% y un 8%, mientras que en el arroz el cambio en precios está entre un 5,5% y un 8% (todos porcentajes aproximados). Las elasticidades promedio asociadas son de -0,56 para el trigo y -0,52 para el arroz.

De las elasticidades obtenidas más arriba, se desprende que el precio del etanol es más sensible a variaciones en el precio del grano, cualquiera sea éste, que al respectivo factor de conversión.

Naturalmente, los escenarios en que el precio de equilibrio del etanol es menor, se dan con el factor de conversión en planta más elevado y con un bajo precio del grano utilizado como insumo. Sin embargo, estos escenarios no son evidentemente los de mayor probabilidad. Por el contrario, es muy probable que granos que permitan mayores tasas de conversión a etanol tengan un costo mayor.

En la Tabla 2.3 se incluyen los resultados obtenidos para el precio del biodiésel a salida de planta para cada grano (raps y maravilla), considerando un tamaño de planta de 60.000 m³/año.

La Tabla 2.3 muestra que, cuando el raps es la materia prima, el precio del biodiésel varía entre un 18% y 19% al desplazarse del escenario promedio de precio de grano hacia los escenarios de costo de materia prima pesimista u optimista. Esto es consistente con una elasticidad precio biodiésel a precio raps del orden de 0,9 (que es aproximadamente 18/20,07). Por otro lado, con la maravilla como insumo, se producen variaciones en torno al 6,5% del precio del biodiésel, lo que implica una elasticidad precio biodiésel a precio de maravilla del orden de 0,87 (que es aproximadamente 6,5/7,42).

Para el análisis con respecto al factor de conversión se consideró como base factores de extracción de aceite (o conversión de grano a biodiésel) de 0,42 y 0,44 L/kg para plantas de raps y maravilla, respectivamente. En el caso del precio del biodiésel elaborado a partir de raps, éste cae entre un 2,9% y 3,6%, aproximadamente, ante un aumento en el factor de extracción de la planta, mientras que con el elaborado a partir de maravilla la disminución es en torno al 3%. Ambos valores son consistentes con una elasticidad precio del biodiésel a factor de extracción de alrededor de -0,6.

Tabla 2.3			
Análisis de sensibilidad: Precios competitivos para biodiésel (US\$/L) a distintos escenarios de precios del grano y extracción de aceite en planta.			
Conversión en Planta L/kg	Planta 60.000 m ³ /año		
	Precio Optimista US\$/kg.	Precio Promedio US\$/kg.	Precio Pesimista US\$/kg.
Raps	0,219	0,274	0,329
0,36	0,681	0,843	1,005
0,38	0,660	0,813	0,967
0,4	0,642	0,787	0,933
0,42	0,625	0,763	0,902
0,44	0,609	0,741	0,874
Maravilla	0,262	0,283	0,304
0,38	0,798	0,857	0,916
0,4	0,773	0,828	0,884
0,42	0,750	0,803	0,856
0,44	0,729	0,779	0,830
0,46	0,709	0,758	0,806

Fuente: Universidad Técnica Federico Santa María - CATA. Abril, 2007.

Se concluye que el precio del biodiésel, a partir de raps o maravilla, es mucho más sensible a variaciones en el precio del grano que al factor de conversión en planta.

Al igual que en el caso del etanol, el escenario más favorable es evidentemente aquel donde se tiene un mayor índice de conversión en planta y un menor precio de materia prima (escenario de precio optimista para la planta). Sin embargo, este escenario no sería el de mayor probabilidad.

2.3 Montos de inversión v/s factores de extracción.

Las Figuras 1 y 2 muestran que la sensibilidad del precio de los respectivos biocombustibles al monto de inversión es bastante menor que al precio del grano. Por otra parte, el análisis de sensibilidad en la sección anterior demostró que los factores de conversión en planta, si bien tampoco alcanzan a ser tan significativos como el precio del grano sobre los precios de equilibrio, generan un importante impacto. Sin embargo, dentro de un cierto rango, mayores factores de conversión usualmente están relacionados a mayores montos de inversión, de manera que el objetivo de esta sección es estudiar el impacto de una sensibilización conjunta de estas variables.

Es importante señalar, sin embargo, que en el caso del etanol la relación entre nivel de inversión y factor de conversión seleccionada en el estudio del CATA fue más bien cautelosa, en el sentido que quizás es posible lograr los mismos factores de conversión con

una inversión algo menor. Ello se ve reflejado en el análisis que se realizó considerando etanol producido a partir de maíz. En la Tabla 2.4 el escenario más cercano al base no se encuentra en la diagonal sino por sobre ella y se identifica con el precio 0,688 que se encuentra destacado.

Conversión en Planta (L/kg)	Inversión (Millones US\$)			
	60	65	70	75
	Precio US\$/L			
0,37	0,679	0,688	0,697	0,705
0,40		0,661	0,670	0,679
0,43			0,647	0,656
0,46				0,636

Fuente: Universidad Técnica Federico Santa María - CATA. Abril, 2007.

Se observa que si un aumento en la inversión conlleva a mayores rendimientos a nivel de planta el precio de etanol disminuye. La tasa a la cual disminuye dependerá de la relación planteada entre aumentos de inversión y tasa de conversión. Por ejemplo, si suponemos que aumentos en inversión permiten desplazarse sobre la diagonal de la Tabla 2.4, ello sería consistente con una elasticidad precio etanol a monto de inversión de entre -0,24 y -0,32.

Se observa que la elasticidad precio de etanol a monto de inversión sería negativa, a diferencia de lo observado en las Figuras 1 y 3, pero su impacto es muy inferior al obtenido para el precio del grano (ver Figura 3).

El hecho que esta elasticidad sea negativa no debe interpretarse como un incentivo a mayores niveles de inversión, pues los distintos escenarios de conversión en planta planteados en la Tabla 2.4 tienen distinta probabilidad de ocurrencia a cada nivel de inversión.

La dispersión observada en los montos de inversión es particularmente importante en el caso de plantas de biodiésel. Un elemento central a este respecto consiste en los supuestos tecnológicos sobre la planta de extracción de aceite. Por una parte, están las plantas que obtienen aceite a través del simple prensado del grano, mientras que por otro lado, también está la posibilidad de extracción a través de la utilización de métodos químicos. Este último método permite un mayor porcentaje de extracción del aceite contenido en el grano, pero también hay una mayor extracción de otros elementos, indeseables en el producto final, que deben ser removidos posteriormente. Ambas tecnologías representan distintos montos de inversión, los que están asociados a distintas capacidades de extracción de aceite a partir de la semilla; sin embargo, aún fijando la tecnología todavía es posible encontrar gran variabilidad en los montos de inversión reportados en la literatura. Por tal razón se decidió realizar una simulación, con doble entrada en montos de inversión y rendimientos industriales, para el caso en que el biodiésel es producido a partir de raps. Los resultados se

reportan en la Tabla 2.5 donde nuevamente se ha destacado el escenario más cercano a la evaluación base del estudio del CATA.

Extracción en Planta (L/kg)	Inversión (Millones US\$)				
	15	20	25	30	35
	Precio US\$/L				
0,36	0,809	0,827	0,845	0,863	0,881
0,38	0,780	0,798	0,816	0,834	0,852
0,40		0,772	0,790	0,807	0,825
0,42			0,766	0,784	0,801
0,44				0,762	0,780

Fuente: Universidad Técnica Federico Santa María - CATA. Abril 2007.

Los escenarios donde no se reporta precio son considerados no factibles ya que con bajos niveles de inversión no sería posible alcanzar altos niveles de extracción de aceite. Estos se alcanzan sólo cuando se realiza extracción con solventes orgánicos lo que incrementa los montos de inversión.

Se observa que si un aumento en la inversión conlleva a mayores rendimientos a nivel de planta de acuerdo a la diagonal de la Tabla 2.5, la elasticidad del precio del biodiésel con respecto a la inversión es negativa y se encuentra entre -0,03 y -0,04, lo que representa un impacto muy inferior al del precio del grano (ver Figura 3).

Finalmente, es conveniente destacar nuevamente que el hecho que esta elasticidad sea negativa no debe interpretarse como un incentivo a realizar inversiones mayores, pues los distintos escenarios de conversión en planta planteados en la Tabla 2.5 tienen distinta probabilidad de ocurrencia.

2.4 Costo y tipo de combustible

En plantas tipo de etanol y biodiésel, operando actualmente en el mundo, la energía para su funcionamiento proviene mayoritariamente de gas natural. Un incremento de 10% en el costo del gas natural produce un aumento de 1,4 y 0,2% en el precio de etanol y biodiesel, respectivamente (Figuras 1 y 2). En Chile, los problemas de suministro o la ausencia de gas natural en algunas regiones, donde potencialmente podrían instalarse plantas productoras, determinan la necesidad de evaluar otros escenarios en torno al costo de la energía. En este sentido y dado que técnicamente es posible reemplazar gas natural por propano, se evaluó un escenario alternativo en que se reemplaza un 100% del gas natural por gas propano, en plantas de 100.000 m³ de etanol en base a maíz y 60.000 m³ de biodiésel en base a raps. En ambos casos se busca el precio del respectivo biocombustible que permitiría alcanzar un 12% de rentabilidad para la planta (Tabla 2.6).

Los resultados indican que en el caso de etanol, los costos de energía casi se duplican, sin embargo, el precio final del etanol solo aumenta en un 13%, alcanzando un valor de US\$ 0,784/L. En el caso de biodiésel, el reemplazo total de gas natural por propano incrementa el costo de la energía en un 73%, sin embargo, su efecto neto sobre el precio final del combustible es de solo un 1,5% de aumento, alcanzando un valor de US\$ 0,775/L.

Tabla 2.6 Análisis de sensibilidad: Precios competitivos para etanol y biodiésel con distintas fuentes de energía.			
	Etanol base maíz		
	Gas natural	Gas propano	Variación (%)
Precio insumo (US\$/1.000.000 BTU)	10,49	20,58	96,1
Precio etanol (US\$/L)	0,693	0,784	13,1
	Biodiésel base raps		
	Gas natural	Gas propano	Variación (%)
Precio insumo (US\$/1.000.000 BTU)	11,92	20,58	72,7
Precio biodiésel (US\$/L)	0,763	0,775	1,5

Fuente: Universidad Técnica Federico Santa María - CATA. Diciembre 2006.

Se concluye que el costo y la disponibilidad de gas natural tienen un impacto menor sobre el precio final de ambos biocombustibles, sin embargo, la evaluación a base de gas propano lleva a precios inferiores para el biodiésel frente al etanol.

3 Estimación de los precios equivalentes.

A partir de los análisis de sensibilidad realizados, se seleccionó el mejor y el peor escenario para los precios de etanol y biodiésel a salida de planta, para a partir de ellos calcular los precios equivalentes al respectivo combustible fósil y al precio del crudo WTI (*West Texas Intermediate*).

Los elementos que impactan más significativamente los precios de los biocombustibles son: el precio del grano, el factor de conversión en planta y, en menor medida, la inversión inicial. Para el caso del biodiésel, los costos operacionales de producir aceite también afectan de una manera significativa el precio de éste, y algo similar ocurre con el gas natural para la producción de etanol.

Sin duda el precio del grano y el factor de conversión (rendimiento en planta) son las variables que causan mayor impacto en los precios de biocombustibles a salida de planta. Es por eso que a partir de éstos se seleccionó el mejor y peor escenario para el precio de cada biocombustible que permitiera mantener una rentabilidad del 12%. Para la elaboración de estos escenarios se consideró una planta de 100.000 m³ a partir de maíz para el etanol y una de 60.000 m³ a partir de raps para el biodiésel. Los escenarios seleccionados para

etanol y biodiésel se presentan en las Tablas 3.1 y 3.2 y fueron seleccionados a partir de los resultados reportados en las Tablas 2.2 y 2.3, respectivamente.

Si bien es cierto, particularmente en el caso del biodiésel, existe una relación directa entre la inversión inicial (costo de la planta) y el factor de extracción en planta, éste efecto no fue considerado debido a que el análisis de la sección anterior muestra que se trata de un efecto de segundo orden frente a aquellos seleccionados.

Tabla 3.1						
Descripción escenarios etanol						
Materia prima	Optimista			Pesimista		
	Precio grano US\$/kg	Factor extracción L/kg	Precio etanol salida planta US\$/L	Precio grano US\$/kg	Factor extracción L/kg	Precio etanol salida planta US\$/L
Maíz	0,152	0,46	0,588	0,184	0,37	0,737
Trigo	0,209	0,40	0,764	0,237	0,28	1,048
Arroz	0,175	0,40	0,678	0,219	0,28	0,983
Tamaño de Planta (m ³ /año)			100.000			
Inversión (MMUS\$)			67,7			

Fuente: Universidad Técnica Federico Santa María - CATA. Abril, 2007.

Tabla 3.2						
Descripción escenarios biodiésel						
Materia prima	Optimista			Pesimista		
	Precio grano US\$/kg	Factor extracción L/kg	Precio biodiésel salida planta US\$/L	Precio grano US\$/kg	Factor extracción L/kg	Precio biodiésel salida planta US\$/L
Raps	0,219	0,44	0,609	0,329	0,36	1,005
Maravilla	0,262	0,46	0,709	0,304	0,38	0,916
Tamaño de Planta (m ³ /año)			60.000			
Inversión (MMUS\$)			24,3			

Fuente: Universidad Técnica Federico Santa María - CATA. Abril, 2007.

Los precios combustible fósil equivalente y crudo WTI equivalente para cada biocombustible fueron estimados de la siguiente manera:⁴

1. El precio combustible fósil equivalente se estimó dividiendo el precio del biocombustible a salida de planta por el cociente entre el contenido energético del biocombustible y su correspondiente combustible fósil. Así, el cociente

⁴ En todo el documento, a menos que se diga explícitamente lo contrario, se mantiene un tipo de cambio de 531 pesos por dólar correspondiente al valor seleccionado en Informe CATA.

etanol/gasolina fue de 0,67, mientras que la proporción biodiésel/diesel fue de 0,90. Estos valores fueron sugeridos por ENAP a partir de información de literatura.

2. El precio crudo WTI equivalente fue obtenido multiplicando el precio combustible fósil equivalente por el cociente entre el precio del crudo WTI y el precio paridad del respectivo combustible fósil (en Texas). Estos cocientes fueron obtenidos a partir de datos publicados por ENAP y la *Energy Information Administration* (EIA) de Estados Unidos, utilizando precios semanales desde junio del 2006 a abril del 2007.

3. Los cocientes utilizados fueron los siguientes:

- a. crudo WTI/gasolina = 0,74
- b. crudo WTI/diesel = 0,72

El equivalente a dólares por barril contempla que un barril contiene aproximadamente 158,9 litros.

Los precios a consumidor fueron obtenidos utilizando las siguientes fórmulas:

- 1. Precio etanol-gasolina equiv. consumidor = PEG + MD + CT + IVA + IE
- 2. Precio biodiésel-diesel equiv. consumidor = PED + MD + CT + IVA + IE

Donde:

- PEG : Precio equivalente gasolina
- PED : Precio equivalente diesel
- MD : Margen de distribución
- CT : Costos de transporte
- IVA : Impuesto al valor agregado
- IE : Impuesto específico

Se considero un impuesto específico (IE) de 6 UTM/m³ para las gasolinas y 1,5 UTM/m³ para el diesel. Los costos de transporte y margen de distribución fueron de 7 y 51 \$/L, respectivamente, valores establecidos por ENAP.

Los resultados se detallan en las Tabla 3.3 y 3.4 para etanol y biodiésel, respectivamente.

Tabla 3.3									
Precios equivalentes para etanol									
Cultivo	Precio etanol salida planta		Precio etanol-gasolina equivalente		Precio (\$/L) etanol-gasolina equivalente consumidor		Precio etanol-crudo WTI equivalente (sin IE)		
	(US\$/L)	(\$/L)	(US\$/L)	(\$/L)	(sin IE)	con (IE)	(US\$/L)	(US\$/brl)	
<i>Escenario Optimista:</i>									
Maíz	0,588	312,228	0,878	466,012	623,574	817,584	0,649	103,248	
Trigo	0,764	405,684	1,140	605,499	789,563	983,573	0,844	134,152	
Arroz	0,678	360,018	1,012	537,340	708,455	902,465	0,749	119,051	
<i>Escenario Pesimista:</i>									
Maíz	0,737	391,347	1,100	584,100	764,099	958,109	0,814	129,411	
Trigo	1,048	556,488	1,564	830,579	1.057,409	1.251,419	1,157	184,020	
Arroz	0,983	521,973	1,467	779,064	996,106	1.190,116	1,086	172,607	
Fuente: Universidad Técnica Federico Santa María - CATA. Abril 2007									

Tabla 3.4									
Precios equivalentes para biodiésel									
Cultivo	Precio biodiésel salida planta		Precio biodiésel-diesel equivalente		Precio (\$/L) biodiésel-diesel equivalente consumidor		Precio diesel -crudo WTI equivalente (sin IE)		
	(US\$/L)	(\$/L)	(US\$/L)	(\$/L)	(sin IE)	con (IE)	(US\$/L)	(US\$/brl)	
<i>Escenario Optimista:</i>									
Raps	0,609	323,379	0,677	359,310	496,599	545,101	0,487	77,456	
Maravilla	0,709	376,479	0,788	418,310	566,809	615,311	0,567	90,175	
<i>Escenario Pesimista:</i>									
Raps	1,005	533,655	1,117	592,950	774,631	823,133	0,804	127,822	
Maravilla	0,916	486,396	1,018	540,440	712,144	760,646	0,733	116,502	
Fuente: Universidad Técnica Federico Santa María - CATA. Abril, 2007.									

Si se considera que el precio de tendencia para el crudo ha sido establecido en torno a los US\$ 60/barril (Fuente: Comisión Nacional de Energía), la producción nacional de etanol sería demasiado costosa puesto que, aún en el mejor escenario, su precio equivalente en crudo es un 72% superior a éste. Por su parte, la producción de biodiésel presenta mejores perspectivas, puesto que su precio equivalente en crudo, bajo su mejor escenario, supera al precio de tendencia del crudo sólo en un 29%. A pesar de los sobrecostos involucrados, es posible que la diversificación de la matriz energética nacional haga deseable que, de todas

formas, se explore la alternativa del uso de biocombustibles. Es necesario en tal caso comparar los costos de producción local versus los costos de importar cada biocombustible.⁵

La Tabla 3.5 compara los costos de producción nacional versus la importación desde Brasil. Se observa que, aún asumiendo un costo de transporte e importación de alrededor de un 10% del valor FOB, los costos de producción de etanol de maíz en el escenario optimista en Chile, superaría en un 78% al precio CIF del etanol importado, mientras que en el escenario pesimista, los precios a salida de planta son un 123% superiores al del etanol brasileño.

Por otra parte, en el caso de biodiésel a base de raps, al comparar los precios a salida de planta en Chile con aquellos obtenidos al importar biodiésel desde Brasil, se observa una ventaja de la producción nacional aún bajo el peor escenario. Esta ventaja debiera diluirse en el tiempo al incrementarse los volúmenes de producción en Brasil y Argentina, una vez que comiencen a producir las plantas actualmente en construcción, lo que debiera impactar los precios del biodiésel importado hacia la baja.

Tabla 3.5 Comparación de precios de biocombustibles de producción nacional con precios de importación desde Brasil.					
Biocombustible	Importado ^{1,2} (US\$/L)	Producción nacional			
		Optimista (US\$/L)	%	Pesimista (US\$/L)	%
Etanol	0,33	0,588	78%	0,737	123%
Biodiésel ³	1,1	0,6	-45%	1,005	-9%

¹ De Brazil Bio-Fuels Annual 2006. USDA Foreign Agriculture Service.
² Precios incluyen 10% adicional por concepto de transporte y gastos de importación.
³ Precios corresponden a licitaciones hechas por el Gobierno brasileño y no a exportaciones reales como en el caso de etanol.

Fuente: Universidad Técnica Federico Santa María - CATA. Abril, 2007.

La Tabla 3.5 deja en evidencia que si se quiere abordar el problema de diversificar la matriz energética nacional, sería recomendable permitir la importación directa de biocombustibles, particularmente etanol.

⁵ La diversificación de la matriz energética nacional se puede lograr importando los biocombustibles. Otro tema relacionado es la independencia energética, que podría inducir a favorecer la producción local frente a la importación.

4 Sacrificio fiscal potencial por eliminación del impuesto específico

A través de la eliminación del impuesto específico a los biocombustible, recientemente confirmado por autoridades del Gobierno de Chile, se produce un sacrificio fiscal que debe ser cuantificado. Una primera aproximación de este costo se obtiene tomando las proyecciones de consumo de combustibles de la Comisión Nacional de Energía y suponiendo que las demandas son inelásticas en un nivel poco sensible a la mezcla utilizada.⁶ Así por ejemplo, bajo un escenario de sustitución del 5% al 2010, el Estado dejaría de percibir cerca de US\$ 60.000.000 en el caso de etanol y cerca de US\$ 22.000.000 en el caso de biodiésel (Tabla 4.1).

Para el cálculo del sacrificio fiscal se evaluó solamente la eliminación del impuesto específico. Para tal efecto se consideró que el etanol no pagaría un impuesto de 6 UTM/m³ (aplicado hoy a la gasolina) mientras que el biodiésel no pagaría un impuesto de 1,5 UTM/m³ (aplicado hoy al diesel). En la Tabla 4.1 se consideró tanto la UTM como el dólar a valores de Mayo 2007 (esto es UTM a 32.271 pesos y dólar a 520,4 pesos).

Escenario de Sustitución	Gasolina Miles m ³	Diesel Transporte Miles m ³	Sustitución Gasolina Miles m ³	Sustitución Diesel Transporte Miles de m ³	Costo para Estado etanol (MM US\$)	Costo para Estado biodiésel (MM US\$)
2%	3.232	4.832	64,63	96,64	24,05	8,99
5%			161,59	241,60	60,12	22,47
10%			323,17	483,20	120,24	44,95

Fuente: Universidad Técnica Federico Santa María - CATA. Mayo 2007.

*Es importante notar que estos costos para el Estado no constituyen automáticamente un costo social, sino más bien una transferencia del Estado a los consumidores. Esta transferencia constituiría un costo social neto sólo si los consumidores enfrentarán los mismos precios finales antes y después de la incorporación de biocombustibles en mezclas. Si los precios que enfrentarán los consumidores fueran mayores en la situación con biocombustibles, las cifras de la Tabla 4.1 constituirían una cota mínima para el costo social.*⁷

⁶ La inelasticidad de la demanda con respecto al precio permite garantizar que, aunque el precio del biocombustible altere el precio por litro de la mezcla que se expenderá a los usuarios, la cantidad demandada será insensible a este cambio de precio. Por otro lado, el supuesto que el nivel de demanda será también insensible a la mezcla utilizada, puede cuestionarse debido a la diferencia de poder calorífico entre los biocombustibles y su respectivo combustible fósil. Sin embargo, si la mezcla se mantiene con un bajo porcentaje de biocombustible el supuesto parece razonable.

⁷ Este argumento no contempla las eventuales externalidades positivas que pudiera tener el uso de biocombustibles. El estudio de estas externalidades no es materia de este informe.

5 Localización de plantas en función de distintos escenarios de demanda.

En esta sección se presenta un análisis para determinar las posibles ubicaciones geográficas para la(s) planta(s) productora(s) de etanol y biodiésel, para diferentes condiciones de demanda. Es necesario indicar que cada escenario de demanda se considera de manera independiente, esto es, para cada nivel de demanda todas las provincias son candidatas a poseer un centro de acopio y/o una planta productora de biocombustible. Este análisis se realiza bajo una economía cerrada a la importación de materias primas.

En el caso de etanol, los escenarios de demanda analizados correspondieron a un 2%, 5% y 10% de sustitución del consumo nacional de gasolina por etanol (porcentajes calculados en relación a la demanda proyectada de las regiones de Arica a la de Los Lagos para el año 2010). En relación al tamaño de planta considerado, se asume que cada planta tiene capacidad de producción de 100.000 m³ de etanol por año. A diferencia del estudio “Evaluación del Potencial Productivo de Biocombustibles en Chile con Cultivos Agrícolas Tradicionales”, se utilizó un factor de conversión en planta homogéneo para las tres materias primas evaluadas, trigo, maíz y arroz, de 0,4 L/kg. Dicho valor es factible de alcanzar con variedades de alto contenido de almidón en el grano y representa un escenario más favorable para la producción de etanol en Chile en base a cultivos distintos del maíz.

En el caso del biodiésel, se analizaron tres escenarios de demanda correspondientes a un 2%, 5% y 8% de sustitución de diesel para transporte por biodiésel (estos porcentajes son calculados en relación a la demanda proyectada de las regiones de Arica a la de Los Lagos para el año 2010). A diferencia de lo establecido en el estudio antes mencionado, en este caso no fue posible satisfacer el escenario de 10% de demanda, debido a que en el primer caso, en el modelo de optimización se trabajó con rendimientos de raps y maravilla redondeados al entero, es decir, por ejemplo, un rendimiento de raps de 3,5 ton/ha, fue considerado como 4 ton/ha, mientras que en el actual, el valor incluyó los decimales correspondientes. Para esta evaluación se asume que cada planta tiene capacidad de producción de 60.000 m³ de biodiésel por año.

El resumen de los resultados obtenidos se presentan en las Tablas 5.1 a 5.6, que muestran: el total de superficie, en hectáreas, destinado a cada tipo de cultivo en cada provincia; las provincias donde se acopian los granos, indicando la cantidad de toneladas de cada grano; las provincias donde se instalan las plantas productoras, indicando la cantidad de m³ de biocombustible y toneladas de subproductos que produce cada planta (DDGs o tortas, según corresponda); las provincias donde se localizan los centros de acopio de biocombustibles y de subproductos, indicando la cantidad, en m³ para biocombustible y toneladas para subproducto, que se acopia en cada provincia.

Los resultados del estudio de localización para plantas productoras de etanol se presentan en las Tablas 5.1, 5.2 y 5.3, para escenarios de sustitución de 2%, 5% y 10%, respectivamente.

Tabla 5.1

Localización de cultivos, plantas y centros de acopio. Etanol, escenario de 2% sustitución.

Provincia	Superficie (ha)		Acopio granos (ton)		Producción		Acopio productos	
	Trigo	Maíz	Trigo	Maíz	Etanol (m ³)	DDGs (ton)	Etanol (m ³)	DDGs (ton)
Cautín	38.771	0	230.373	0	63.583	80.631	63.583	80.631
Total	38.771	0	230.373	0	63.583	80.631	63.583	80.631

Fuente: Universidad Técnica Federico Santa María - CATA. Abril 2007.

Tabla 5.2

Localización de cultivos, plantas y centros de acopio. Etanol, escenario de 5% sustitución.

Provincia	Superficie (ha)		Acopio granos (ton)		Producción		Acopio productos	
	Trigo	Maíz	Trigo	Maíz	Etanol (m ³)	DDGs (ton)	Etanol (m ³)	DDGs (ton)
Bío Bío	0	0	0	0	0	0	140.566	31.581
Malleco	38.782	0	213.627	0	58.961	74.769	0	0
Cautín	60.761	0	362.319	0	100.000	126.812	18.395	170.000
Total	99.543	0	575.946	0	158.961	201.581	158.961	201.581

Fuente: Universidad Técnica Federico Santa María - CATA. Abril 2007.

Tabla 5.3

Localización de cultivos, plantas y centros de acopio. Etanol, escenario de 10% sustitución.

Provincia	Superficie (ha)		Acopio granos (ton)		Producción		Acopio productos	
	Trigo	Maíz	Trigo	Maíz	Etanol (m ³)	DDGs (ton)	Etanol (m ³)	DDGs (ton)
Talca	0	7.523	0	0	0	0	179.826	0
Linares	0	15.000	0	270.270	100.000	89.189	0	0
Bío Bío	25.500	4.000	224.877	48.000	79.826	94.547	101.300	172.302
Malleco	14.729	0	0	0	0	0	0	0
Cautín	60.761	0	362.319	0	100.000	126.812	0	107.439
Valdivia	14.000	0	0	0	0	0	0	0
Osorno	10.000	0	138.000	0	38.088	48.300	36.788	79.107
Llanquihue	1.000	0	0	0	0	0	0	0
Total	125.991	26.523	725.196	318.270	317.914	358.848	317.914	358.848

Fuente: Universidad Técnica Federico Santa María - CATA. Abril 2007.

Puede observarse que para los escenarios de sustitución de 2% y 5% de la demanda, se requieren una y dos plantas respectivamente, las que utilizan solamente trigo como materia prima. Para el escenario de 10% de sustitución se requiere un total de cuatro plantas, las que usan principalmente trigo como materia prima, incorporando además maíz en aquellas plantas localizadas más al norte. Un análisis más detallado de las Tablas 5.2 y 5.3 permite evidenciar que el acopio de productos no necesariamente se realiza junto a las plantas

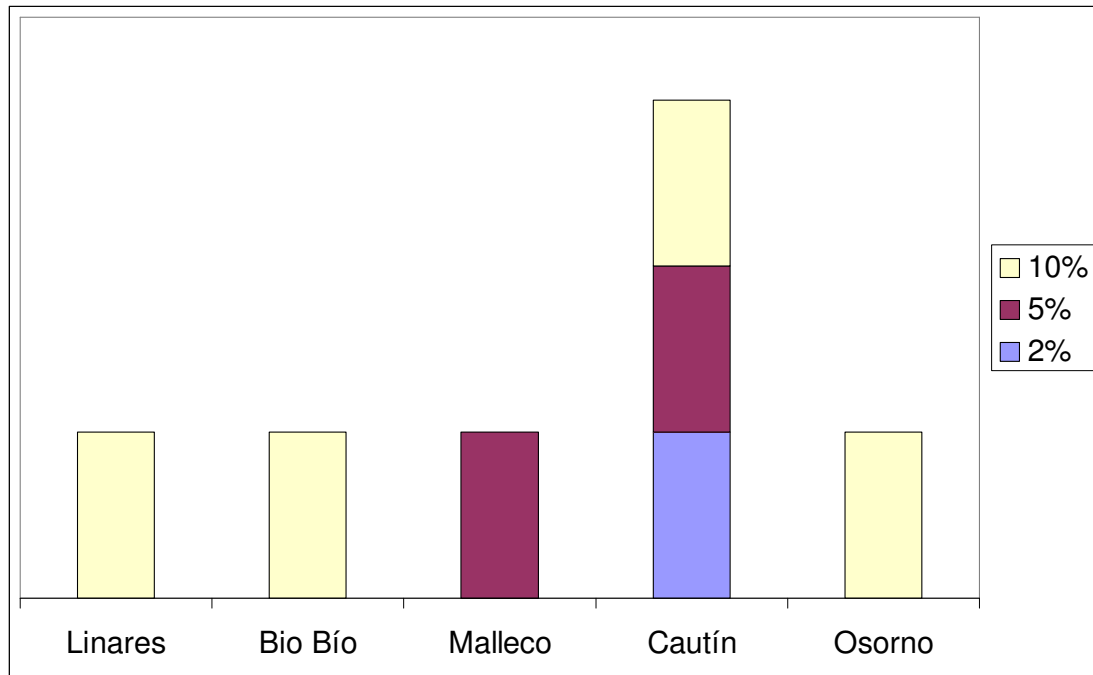
productoras, esto se debe a que el modelo utilizado considera como candidatos para localizar plantas y/o centros de acopio a cualquiera de las provincias consideradas en el estudio (esto es, el modelo no obliga a que plantas productoras y centros de acopio se localicen en la misma provincia). Por lo tanto, es lógico que la localización de los centros de acopio de productos se aproxime a los centros de consumo.

Cabe señalar que la tasa de ocupación promedio de las plantas es de 64%, 79% y 79% para los escenarios de demanda de 2%, 5% y 10% de sustitución, respectivamente, lo que indicaría que, en algunas localidades, podrían utilizarse plantas de menor tamaño.

El análisis de los tres escenarios de demanda permite conocer el comportamiento de la localización de las plantas productoras de etanol (Figura 4). En los tres escenarios de demanda la provincia de Cautín es seleccionada para localizar una planta productora de etanol. Malleco es seleccionada para contener una planta productora en el caso de sustitución de 5% de la demanda. Sin embargo, la provincia de Malleco no es seleccionada para tener una planta productora de etanol en el escenario de sustitución de 10%; esto se debe a que en cada escenario todas las provincias son candidatas a poseer un centro de acopio y/o una planta productora (son escenarios independientes).

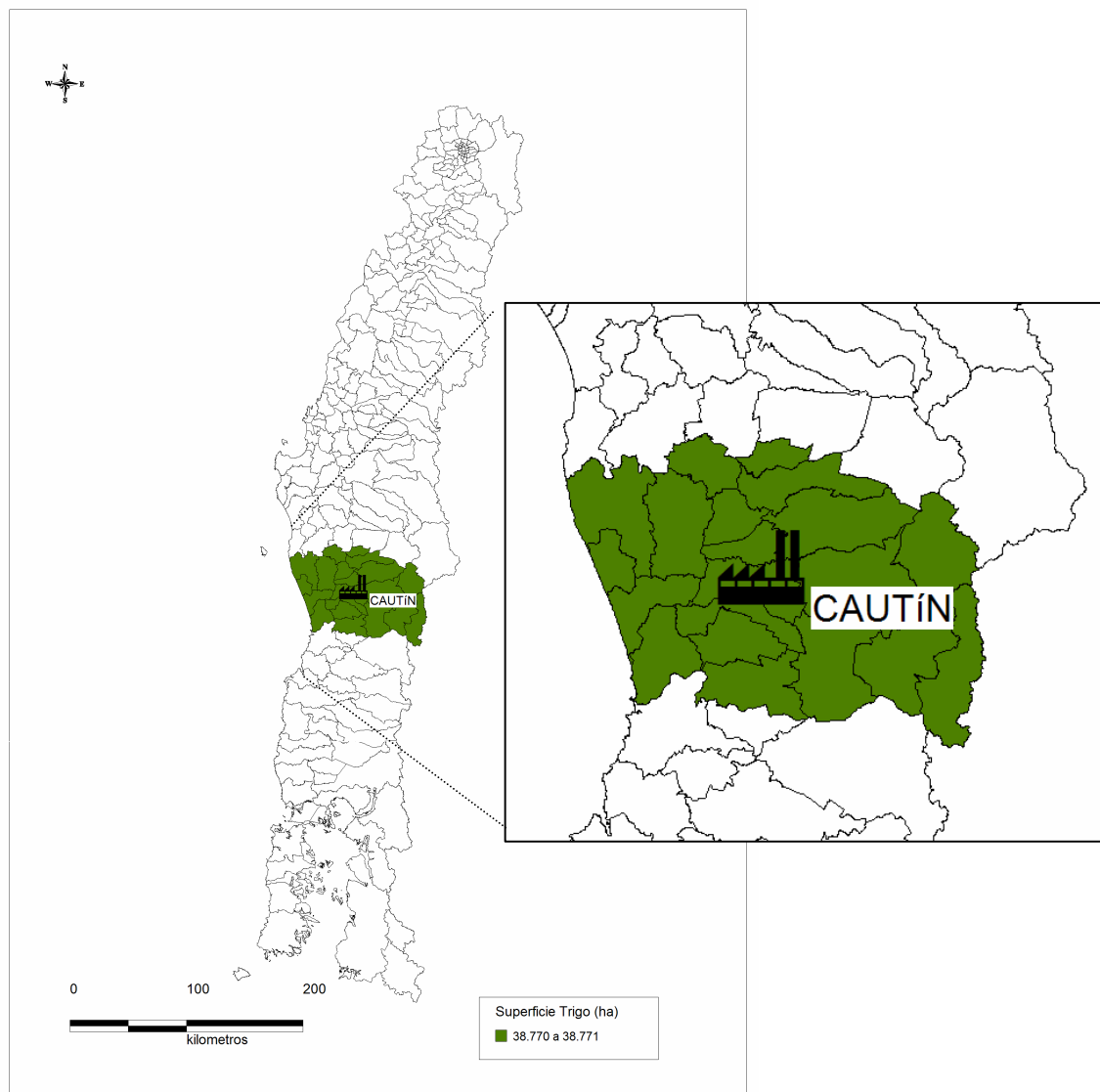
La distribución espacial de las plantas productoras de etanol para los diferentes escenarios de sustitución de demanda, 2%, 5% y 10%, se muestran en los Mapas 1, 2 y 3 respectivamente. El Mapa 1, que corresponde al escenario de sustitución de demanda de 2%, muestra que la planta productora de etanol de la provincia de Cautín utilizaría trigo proveniente de la misma provincia. El Mapa 2 (sustitución del 5% de la demanda), muestra que las plantas utilizarían trigo de las provincias de Cautín y Malleco. Finalmente, bajo máxima demanda, el Mapa 3 muestra que, se requerirían plantas en Cautín, Osorno, Bío Bío y Linares, las que utilizarían trigo proveniente de las provincias del sur, maíz y trigo de la provincia de Bío Bío y maíz de las provincias de Talca y Linares.

Figura 4. Localización de las plantas de etanol en función de su demanda.



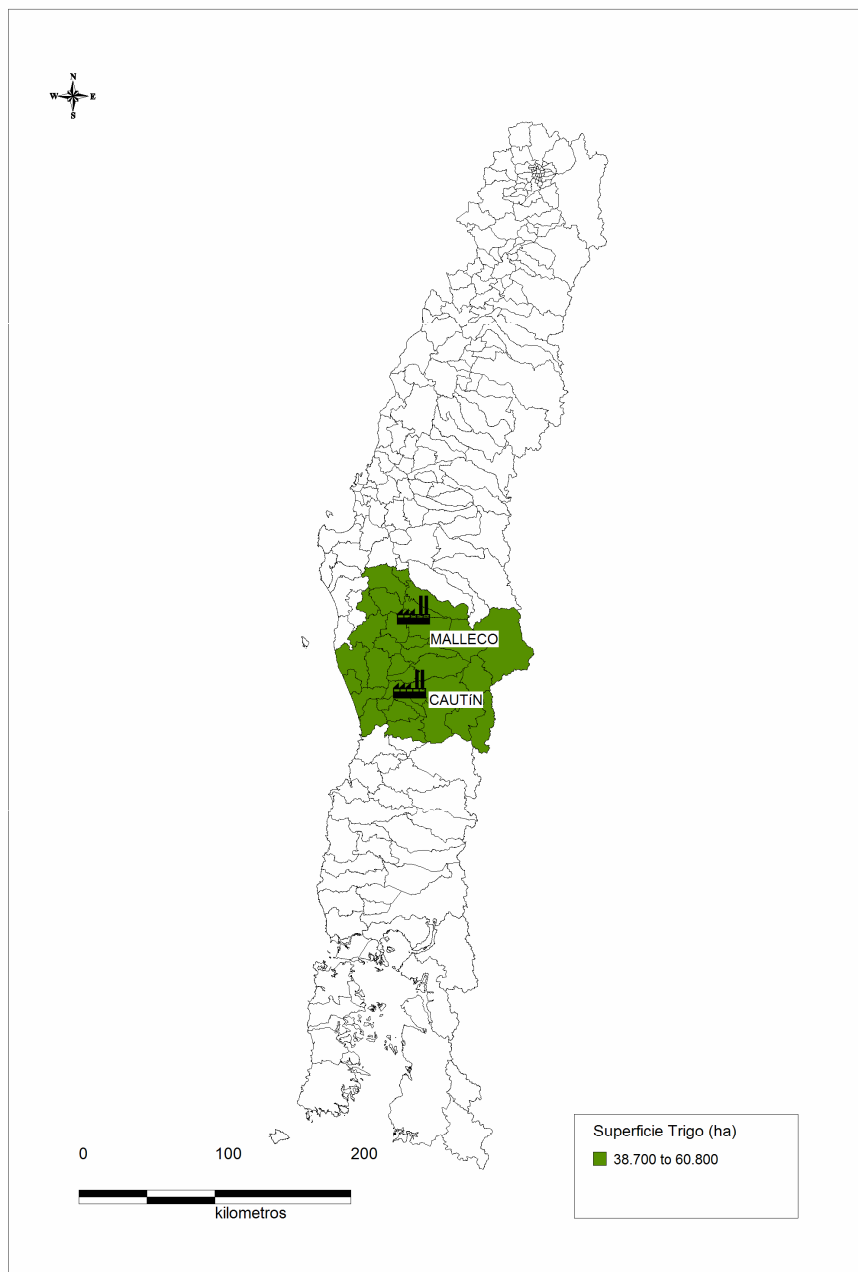
Fuente: Universidad Técnica Federico Santa María - CATA. Abril 2007.

Mapa 1. Localización de planta de etanol y área de producción de la materia prima bajo un escenario de 2% de sustitución.



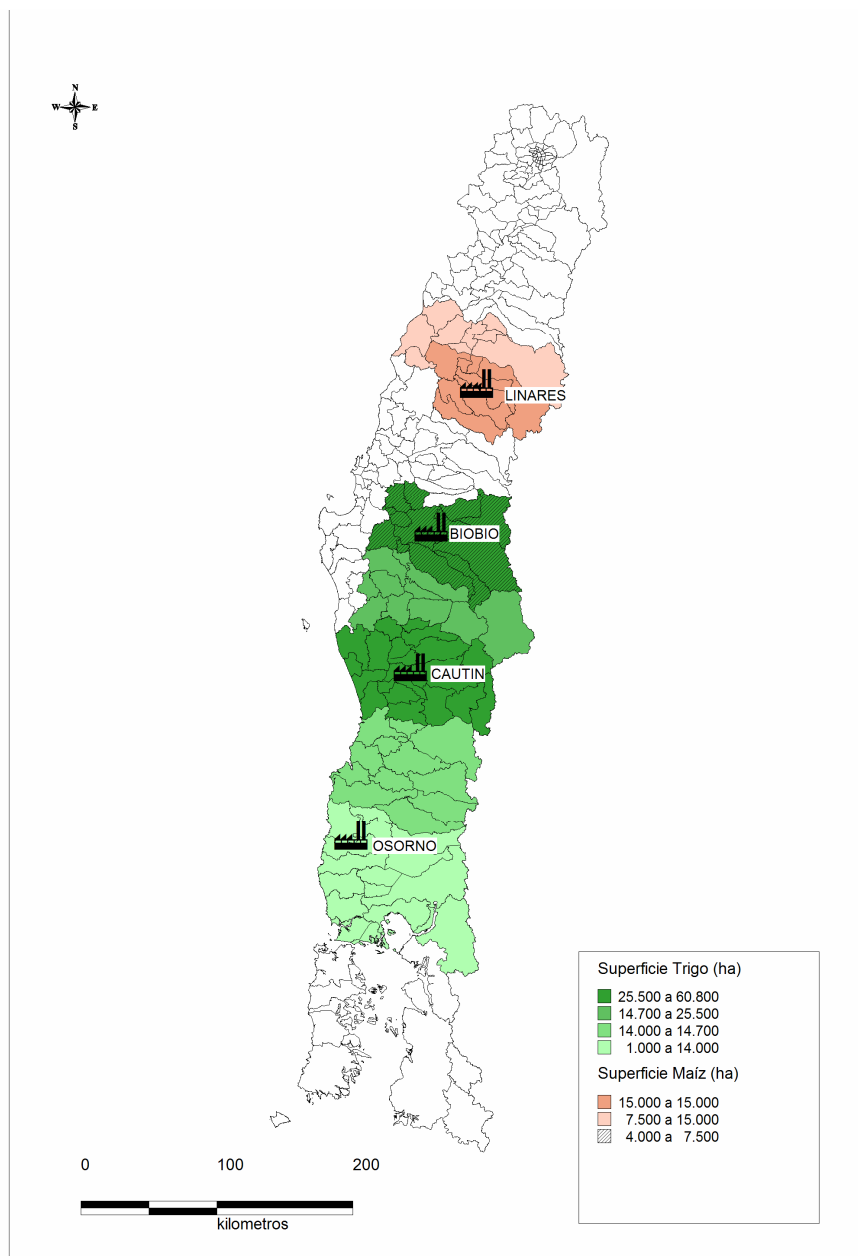
Fuente: Universidad Técnica Federico Santa María - CATA. Abril 2007.

Mapa 2. Localización de plantas de etanol y área de producción de la materia prima bajo un escenario de 5% de sustitución.



Fuente: Universidad Técnica Federico Santa María - CATA. Abril 2007.

Mapa 3. Localización de plantas de etanol y área de producción de las materias primas bajo un escenario de 10% de sustitución.



Fuente: Universidad Técnica Federico Santa María - CATA. Abril 2007.
En la provincia de Bío Bío se produce tanto trigo como maíz.

Los resultados del estudio de localización para plantas productoras de biodiésel se presentan en las Tablas 5.4, 5.5 y 5.6 para escenarios de sustitución de 2%, 5% y 8%, respectivamente.

Tabla 5.4
Localización de cultivos, plantas y centros de acopio. Biodiésel, escenario de 2% sustitución.

Provincia	Superficie (ha)		Acopio granos (ton)		Producción		Acopio productos	
	Marav.	Raps	Marav.	Raps	Biodiésel (m ³)	Torta (ton)	Biodiésel (m ³)	Torta (ton)
Curicó	0	0	0	0	0	0	80.904	0
Bío Bío	0	29.500	0	132.571	55.680	76.891	0	76.891
Malleco	0	8.378	0	0	0	0	0	0
Cautín	0	40.816	0	142.857	60.000	82.857	34.776	82.857
Total	0	78.694	0	275.429	115.680	159.749	115.680	159.749

Fuente: Universidad Técnica Federico Santa María - CATA. Abril 2007.

Tabla 5.5
Localización de cultivos, plantas y centros de acopio. Biodiésel, escenario de 5% sustitución.

Provincia	Superficie (ha)		Acopio granos (ton)		Producción		Acopio productos	
	Marav.	Raps	Marav.	Raps	Biodiésel (m ³)	Torta (ton)	Biodiésel (m ³)	Torta (ton)
Ñuble	0	11.316	0	0	0	0	0	0
Bío Bío	0	29.500	0	142.857	60.000	82.857	180.000	155.293
Malleco	0	40.000	0	142.857	60.000	82.857	0	0
Cautín	0	54.427	0	142.857	60.000	82.857	0	93.278
Valdivia	0	14.000	0	0	0	0	0	0
Osorno	0	10.000	0	132.279	55.557	76.722	55.557	76.722
Llanquihue	0	1.000	0	0	0	0	0	0
Total	0	160.243	0	560.850	235.557	325.293	235.557	325.293

Fuente: Universidad Técnica Federico Santa María - CATA. Abril 2007.

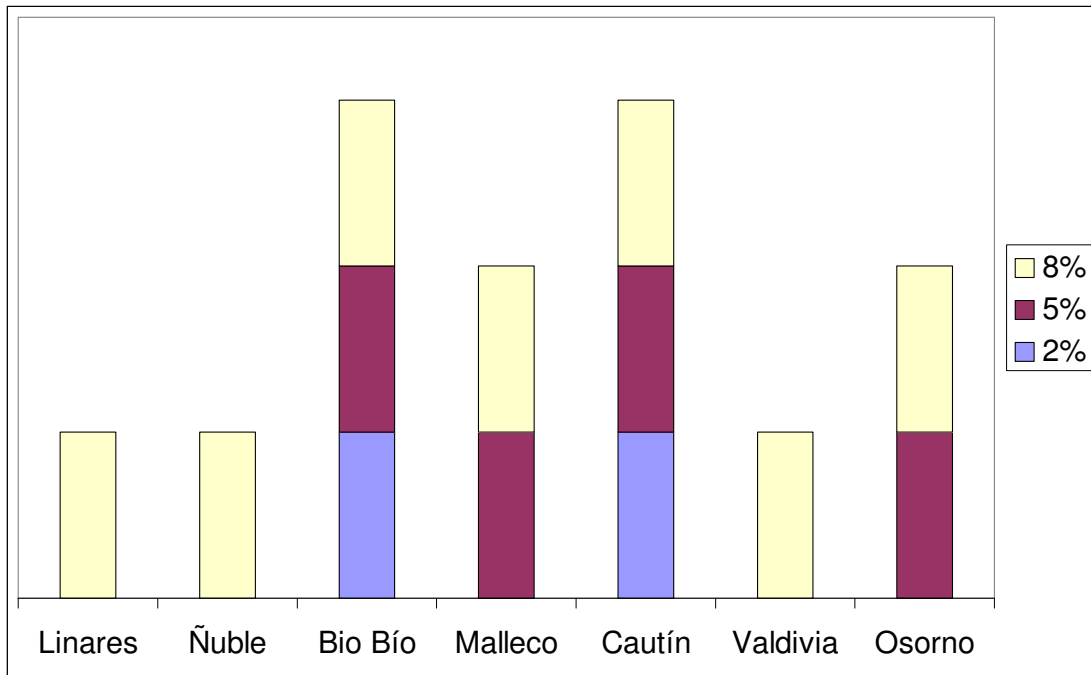
Provincia	Superficie (ha)		Acopio granos (ton)		Producción		Acopio productos	
	Marav.	Raps	Marav.	Raps	Biodiésel (m ³)	Torta (ton)	Biodiésel (m ³)	Torta (ton)
Curicó	4.407	0	0	0	0	0	0	0
Talca	11.500	0	0	0	0	0	222.536	0
Linares	17.486	0	99.400	0	43.736	55.664	0	0
Ñuble	6.367	52.133	0	142.857	60.000	82.857	0	0
Bío Bío	0	29.500	0	142.857	60.000	82.857	0	302.578
Malleco	0	40.000	0	140.000	58.800	81.200	0	0
Cautín	0	80.000	0	142.857	60.000	82.857	126.904	79.382
Valdivia	0	14.000	0	142.857	60.000	82.857	0	82.857
Osorno	0	10.000	0	81.786	34.350	47.436	27.446	50.911
Llanquihue	0	1.000	0	0	0	0	0	0
Total	39.760	226.633	99.400	793.214	376.886	515.728	376.886	515.728

Fuente: Universidad Técnica Federico Santa María - CATA. Abril 2007.

Puede observarse que para los escenarios de sustitución de 2%, 5% y 8%, se requieren dos, cuatro y siete plantas, respectivamente. Para los escenarios de 2% y 5%, las plantas utilizan solamente raps como materia prima, mientras que para el escenario de 8% las plantas utilizarían tanto raps como maravilla. La tasa de ocupación promedio de las plantas es de 96%, 98% y 90% para los escenarios de demanda de 2%, 5% y 8% de sustitución, respectivamente.

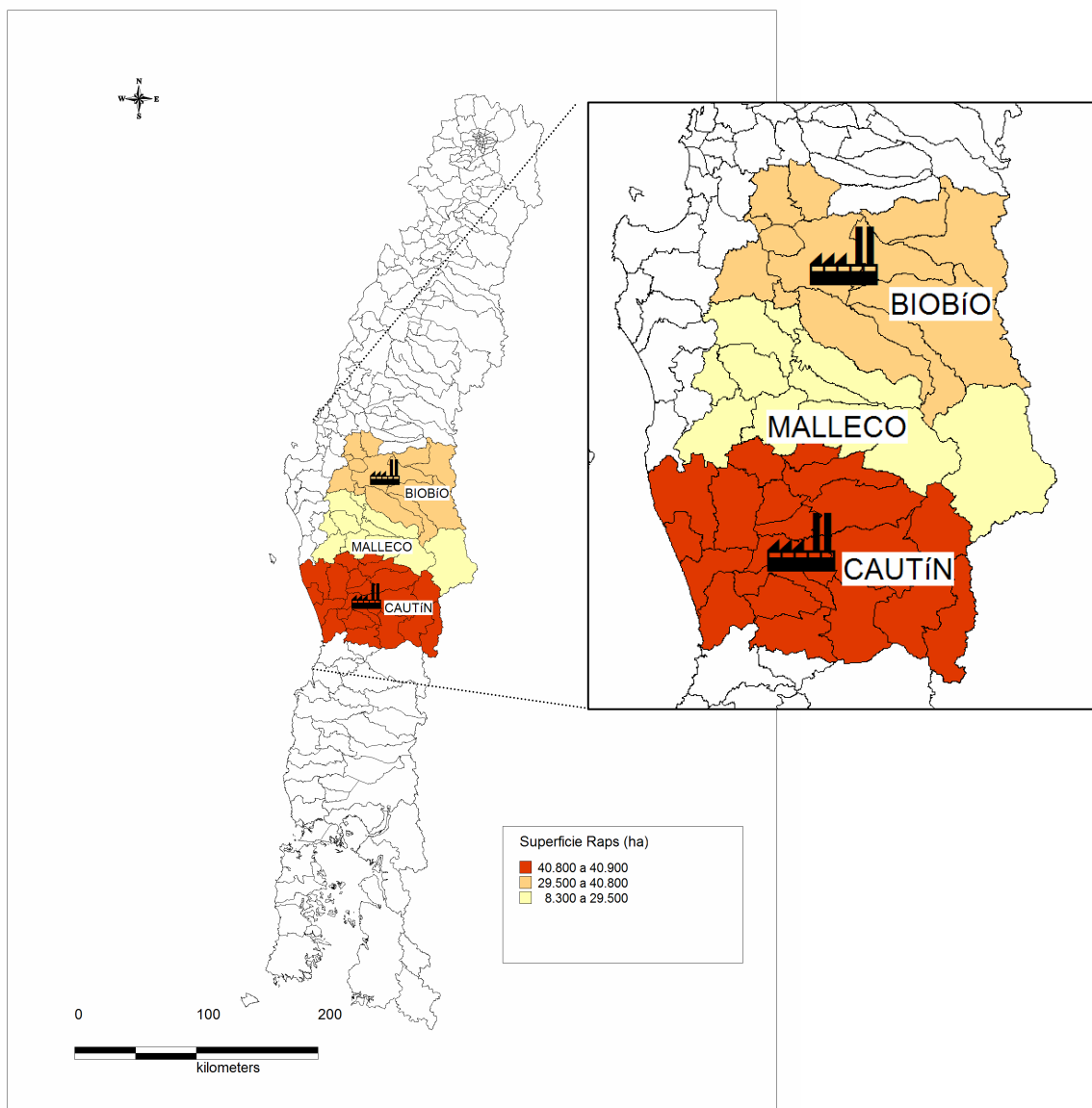
Estos tres escenarios de demanda permiten observar el comportamiento de la localización de las plantas productoras de biodiésel (ver Figura 5). Si bien los tres escenarios se consideraron de manera independiente, los resultados obtenidos permiten proponer un comportamiento secuencial de las ubicaciones de las plantas productoras en función del crecimiento de la demanda. Así, las primeras plantas debieran localizarse en la provincia de Cautín y Bío Bío (Mapa 4). Con el crecimiento de la demanda, a estas debieran agregarse las de Malleco y Osorno (Mapa 5). Finalmente, bajo máxima demanda se requerirían plantas adicionales en Valdivia, Linares y Ñuble (Mapa 6).

Figura 5. Localización de las plantas de biodiésel en función de su demanda.



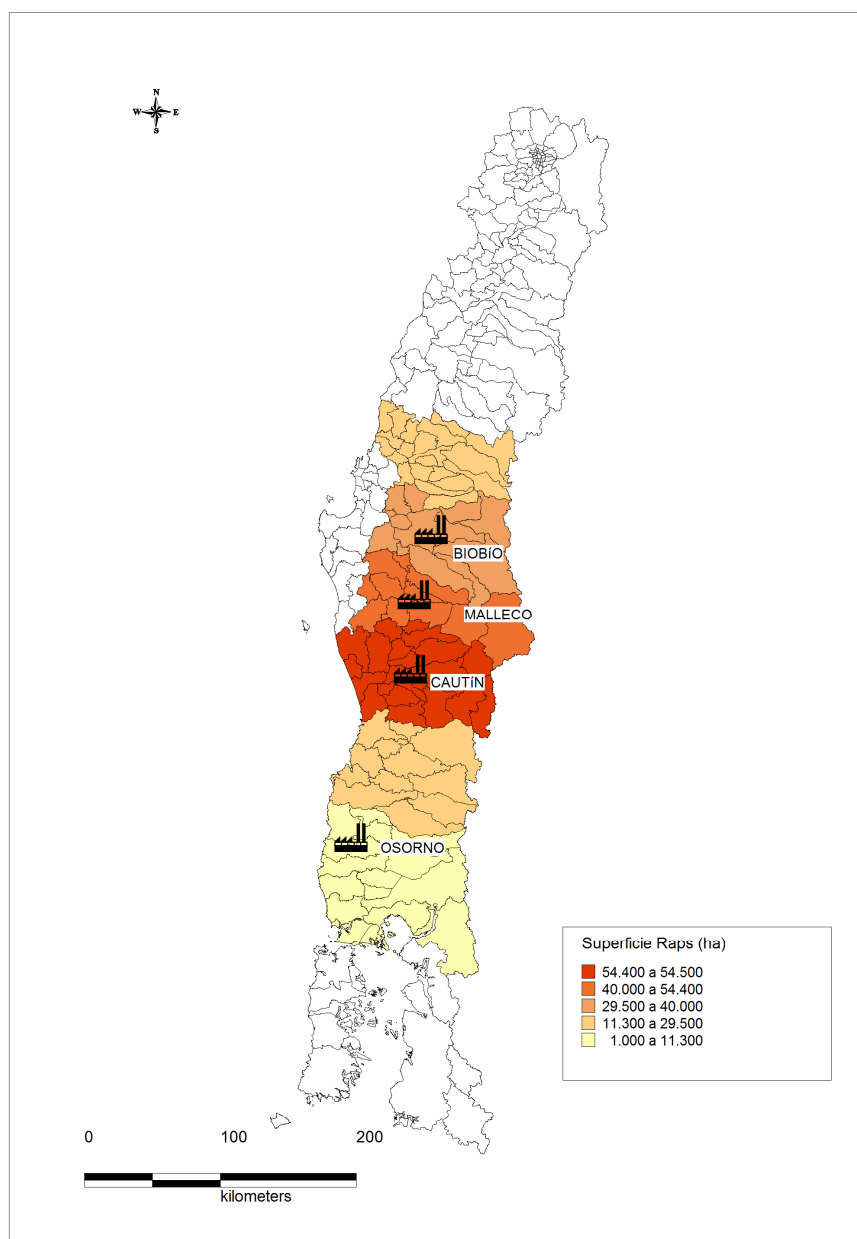
Fuente: Universidad Técnica Federico Santa María - CATA. Abril 2007.

Mapa 4. Localización de plantas de biodiésel y área de producción de la materia prima bajo un escenario de 2% de sustitución.



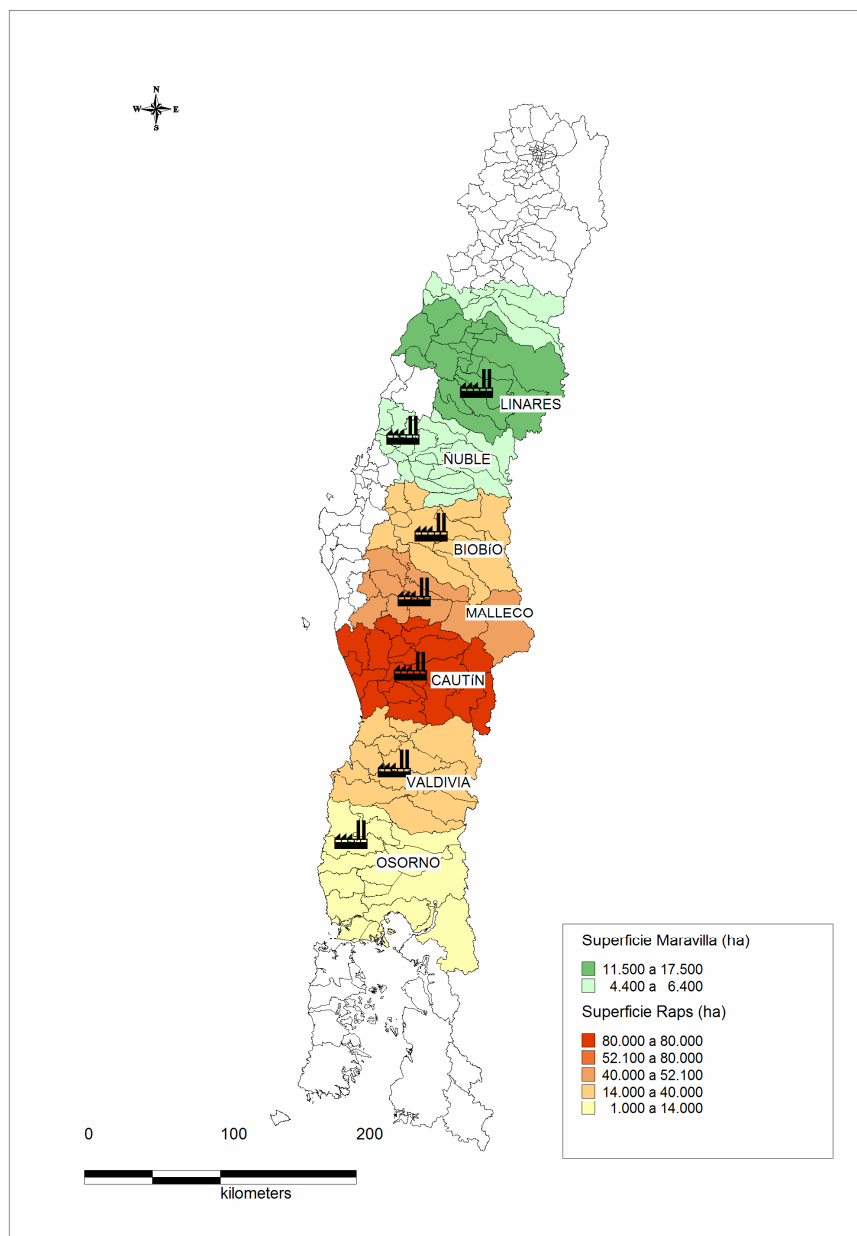
Fuente: Universidad Técnica Federico Santa María - CATA. Abril 2007.

Mapa 5. Localización de plantas de biodiésel y área de producción de la materia prima bajo un escenario de 5% de sustitución.



Fuente: Universidad Técnica Federico Santa María - CATA. Abril 2007.

Mapa 6. Localización de plantas de biodiésel y área de producción de la materia prima bajo un escenario de 8% de sustitución.



Fuente: Universidad Técnica Federico Santa María - CATA. Abril 2007.
 En la provincia de Ñuble se produce tanto raps como maravilla.

6 Análisis de sensibilidad de la rentabilidad de los cultivos a las variaciones de precio del grano a nivel de productor agrícola.

Para el análisis de la sensibilidad de la rentabilidad de los principales cultivos energéticos, es decir maíz y raps, en sistemas productivos seleccionados⁸, al precio del grano se consideraron tres escenarios, estos son:

- un escenario promedio,
- uno pesimista (una desviación estándar menor al promedio) y
- uno optimista (una desviación estándar mayor al promedio).

Los escenarios de precios, desde el punto de vista del productor, se detallan en la Tabla 6.1.

Tabla 6.1 Escenarios de precios de grano (\$/qq)			
Cultivo	Precio Pesimista (P-s)	Precio Promedio (P)	Precio Optimista (P+s)
Maíz	8.071,4	8.921	9.770,6
Raps	11.628,5	14.549	17.469,5

Fuente: Universidad Técnica Federico Santa María - CATA. Abril 2007.

La Tabla 6.2 muestra las rentabilidades de los cultivos obtenidas para cada sistema productivo frente a los distintos escenarios de precios de grano. Se observa la gran sensibilidad de la rentabilidad de raps en ambos sistemas productivos frente a las variaciones en el precio del grano. Si se considera un precio optimista, en vez del precio promedio, la rentabilidad del raps pasa de ser negativa o prácticamente nula a un valor > 17%. En el caso del maíz, en todos los sistemas productivos, un aumento en el precio del grano impacta significativamente la rentabilidad del cultivo, alcanzándose rentabilidades > 30% bajo el escenario optimista de precio de grano.

⁸ Cabe señalar que en esta sección la noción de optimista o pesimista se evalúa desde el punto de vista del productor del grano.

Tabla 6.2					
Rentabilidad de cultivos para un productor individual en sistemas productivos seleccionados para distintos escenarios de los precios del grano.					
	Maíz			Raps	
Escenario de Precios	M1-VI	M2-VII	M3-VIII	RPT-IX	RPCL-IX
Precio Pesimista	10,26%	9,77%	7,64%	-21,61%	-17,37%
Precio Promedio	21,86%	21,32%	18,97%	-1,92%	3,38%
Precio Optimista	33,47%	32,88%	30,30%	17,77%	24,14%

Fuente: Universidad Técnica Federico Santa María - CATA. Abril 2007.

7 Impacto social de la producción de biocombustibles.

En esta sección se realiza una evaluación preliminar del impacto social de la producción de biocombustibles en la agricultura chilena. Para ello se usaron dos indicadores:

- Una estimación del uso de mano de obra directa y
- Las hectáreas de cultivos energéticos producidas por la agricultura familiar campesina (AFC).

7.1 Estimación de la mano de obra a utilizar en la industria de los biocombustibles.

En esta sección se realiza una estimación de la mano de obra a utilizar en la producción de etanol y de biodiésel para los distintos escenarios de demanda.

Para la estimación de la mano de obra total a utilizar en cada biocombustible, se estimó separadamente la utilizada a nivel de campo, para la producción de granos, y la utilizada en la planta misma de producción de biocombustibles y co-productos. Tanto para el etanol como para el biodiésel se consideraron las plantas de mayor capacidad de producción, esto es la de 100.000 m³/año y la de 60.000 m³/año, respectivamente. La cantidad de mano de obra utilizada en planta es en promedio de 56 personas para el caso del etanol y 40 para el caso del biodiésel. Estos datos fueron obtenidos desde plantas en operación existentes en otros países a esas escalas de producción. Para el caso de la mano de obra utilizada en el cultivo de la materia prima se consideró las hectáreas necesarias de cada grano para producir la cantidad de biocombustible estimado para cada escenario de demanda, sin considerar los posibles efectos de economías de escala; por esta razón, la mano de obra utilizada a nivel de campo representa una cota superior. En etanol la materia prima utilizada es trigo y maíz; mientras que para el biodiésel es maravilla y raps. La cantidad de mano de obra utilizada en cada cultivo correspondió a un promedio de los distintos sistemas productivos que potencialmente producirían las materias primas.

Las Tablas 7.1 y 7.2 detallan los resultados obtenidos para la estimación de la mano de obra. Así por ejemplo, bajo un escenario del 5% de sustitución de la demanda al 2010, la industria de biocombustibles utilizaría en total alrededor de 1.000 personas/año: 400 y 600 personas/año en la producción de etanol y biodiésel, respectivamente, si ambas industrias se desarrollaran en conjunto.

Escenario de demanda	M.O. en planta			M.O. en cultivos				Total mano de obra a utilizar (Empleos/año)
	Cantidad de plantas	Mano de obra por planta	Total mano de obra en plantas	Cultivo	Cantidad de hectáreas necesarias	Mano de obra por hectárea	Total de mano de obra en cultivos	
2%	1	56	56	Trigo	38.771	0,003	106	162
				Maíz	0	0,014		
5%	2	56	112	Trigo	99.543	0,003	273	385
				Maíz	0	0,014		
10%	4	56	224	Trigo	125.991	0,003	709	933
				Maíz	26.523	0,014		

Fuente: Universidad Técnica Federico Santa María - CATA. Abril 2007.

Escenario de demanda	M.O. en planta			M.O. en cultivos				Total mano de obra a utilizar (Empleos/año)
	Cantidad de plantas	Mano de obra por planta	Total mano de obra en plantas	Cultivo	Cantidad de hectáreas necesarias	Mano de obra por hectárea	Total de mano de obra en cultivos	
2%	2	40	80	Maravilla	0	0,014	216	296
				Raps	78.694	0,003		
5%	4	40	160	Maravilla	0	0,014	439	599
				Raps	160.243	0,003		
8%	7	40	280	Maravilla	39.760	0,014	1.166	1.446
				Raps	226.633	0,003		
9%	8	40	320	Maravilla	76.002	0,014	1.664	1.984
				Raps	227.449	0,003		

Fuente: Universidad Técnica Federico Santa María - CATA. Abril 2007.

Se observa que el beneficio social de la industria de biocombustibles derivado del impacto sobre el empleo directo es bajo, aún cuando la producción de granos fuera íntegramente abastecida por producción nacional. Dado que sólo se ha incluido el empleo directo, la evaluación social de toda la cadena de valor de los biocombustibles, que cuantifique las externalidades sobre el empleo indirecto en el uso de los biocombustibles, necesariamente tendría un mayor impacto en el trabajo generado por esta actividad.

7.2 Hectáreas de cultivos bioenergéticos producidas por la pequeña agricultura.

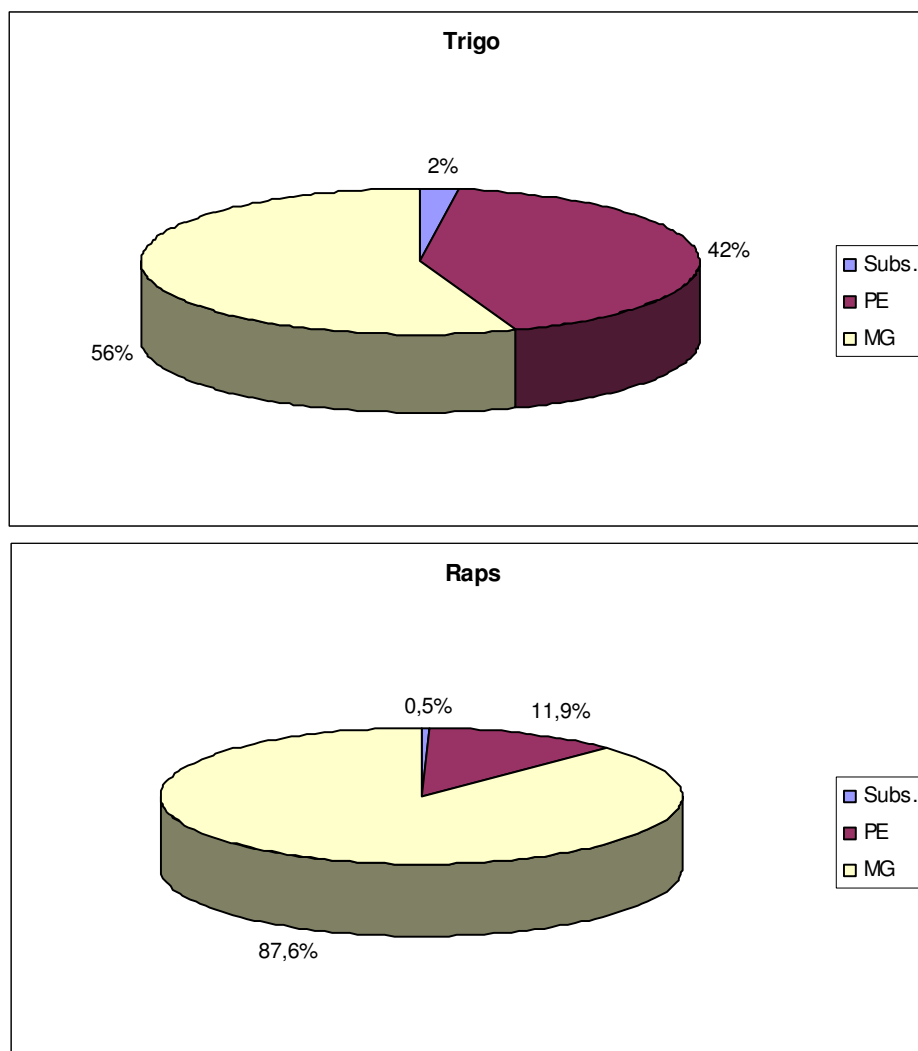
Por cada cultivo energético considerado en el estudio, se determinó en cada región la proporción de la superficie cultivada en manos de agricultura de subsistencia y pequeños empresarios en base a datos proporcionados por ODEPA. Estos porcentajes fueron aplicados a las superficies de cultivos necesarias para satisfacer los distintos niveles de demanda. Los resultados se presentan en la Tabla 7.3.

Tabla 7.3 Superficie de cultivos bioenergéticos necesaria para distintos niveles de demanda y superficie en manos de pequeños productores.												
Trigo	Subs. ¹	PE ²	Sustitución 2%			Sustitución 5%			Sustitución 10%			
	Región		%		Total	Subs.	PE	Total	Subs.	PE	Total	Subs.
Superficie (ha)												
VIII	3,9	46,9								25.500	991	11.969
IX	2,3	42,2	38.771	910	16.371	99.543	2.337	42.031	75.490	1.773	31.875	
X	4,0	32,6							25.000	1.007	8.155	
		Total	38.771	910	16.371	99.543	2.337	42.031	125.990	3.770	51.998	
Maíz	Subs.	PE	Sustitución 2%			Sustitución 5%			Sustitución 10%			
	Región		%		Total	Subs.	PE	Total	Subs.	PE	Total	Subs.
Superficie (ha)												
VII	3,9	39,1							22.523	889	8.806	
VIII	3,8	27,5							4.000	152	1.100	
		Total							26.523	1.040	9.906	
Maravilla	Subs.	PE	Sustitución 2%			Sustitución 5%			Sustitución 8%			
	Región		%		Total	Subs.	PE	Total	Subs.	PE	Total	Subs.
Superficie (ha)												
VII	0,4	63,4							33.393	143	21.178	
VIII	0,2	48,0							6.367	16	3.053	
		Total							39.760	159	24.231	
Raps	Subs.	PE	Sustitución 2%			Sustitución 5%			Sustitución 8%			
	Región		%		Total	Subs.	PE	Total	Subs.	PE	Total	Subs.
Superficie (ha)												
VIII	1,5	18,9	29.500	434	5.590	40.816	601	7.734	81.633	1.202	15.469	
IX	0,2	10,4	49.194	95	5.114	94.427	182	9.816	120.000	231	12.475	
X	0,0	6,3				25.000	4	1.566	25.000	4	1.566	
		Total	78.694	529	10.704	160.243	787	19.116	226.633	1.437	29.510	
Fuente: Universidad Técnica Federico Santa María - CATA. Abril 2007, en base a datos de ODEPA.												
¹ Subs.: agricultura de subsistencia												
² PE: pequeño empresario												

Para un escenario del 5% de sustitución al año 2010, para la producción de etanol, alrededor de un 44% (42 % pequeño empresario y 2 % subsistencia) de la superficie de trigo estaría en manos de pequeños productores. Por el contrario, en el caso de biodiésel, solo un 12% de la superficie de raps requerida se encontraría en manos de pequeños productores (Figura 6, Tabla 7.3).

En consecuencia, si se privilegia una visión redistributiva (en lugar del beneficio social) la producción de etanol genera un escenario más favorable a la de biodiésel.

Figura 6. Participación de la agricultura familiar campesina en la producción de cultivos bioenergéticos.



Fuente: Universidad Técnica Federico Santa María - CATA. Abril 2007.

8 Conclusiones

Las principales conclusiones del presente estudio son:

- i. Los costos de producción del biodiésel y etanol se encuentran fuertemente concentrados en el precio del grano.
- ii. Elementos tales como factores de conversión, inversión inicial y costo de combustible de las plantas, si bien significativos, son de segundo orden frente el precio del grano.
- iii. El cálculo de precios equivalentes crudo WTI dejó en evidencia que la producción doméstica de biocombustibles sólo se justificaría a valores demasiado altos del precio del crudo. Por ejemplo, en el escenario más favorable estimado (escenario optimista para biodiésel a base de raps), se requeriría un precio del crudo WTI un 29% superior al proyectado (US\$ 60/barril) para hacer rentable la producción doméstica de biodiésel.
- iv. La disponibilidad de superficie apta para la producción doméstica de etanol está severamente limitada, no así para la producción de biodiésel.
- v. Si el objetivo de la autoridad es diversificar la matriz energética nacional, la importación directa de biocombustibles es una alternativa viable, especialmente para el caso del etanol. Si el objetivo de la autoridad es la independencia energética, entonces la producción nacional de biocombustibles podría requerir subsidios más allá de la eliminación del impuesto específico.
- vi. La sola eliminación del impuesto específico a los biocombustibles significa un sacrificio fiscal que, a una tasa de sustitución del 5%, bordearía al 2010 los MMUS\$ 60 en el caso del etanol y los MMUS\$ 22,5 en el caso del biodiésel.
- vii. El sacrificio fiscal identificado en el punto anterior muy probablemente constituye un costo social, puesto que las mezclas difícilmente llegarán al consumidor final a un precio menor al observado para el combustible de origen fósil, en ausencia de biocombustibles.
- viii. Respecto de la evaluación social, algunos elementos aparecen como relevantes. Primero, la generación de empleo en esta industria es marginal y por lo tanto no puede ser éste el foco de una evaluación social.⁹ Segundo, un argumento redistributivo favorecería al etanol por sobre el biodiésel, debido a la proporción

⁹ De acuerdo al documento de CEPAL (2005) que recoge la opinión de un grupo de expertos en el sector de biocombustibles, “el impacto de los biocombustibles en el nivel de empleo rural es ambiguo” y la razón es la eventual mecanización de cultivos que previamente eran intensivos en mano de obra.

de la superficie cultivada en manos de agricultura de subsistencia y pequeños empresarios para cada grano relevante.

- ix. Otros efectos sociales han sido también discutidos en la literatura. En particular Quiroz (2007) identifica varios elementos a tener en cuenta, de entre los que destacan la importancia de la flexibilidad, en el sentido que las plantas pueden operar en circunstancias en que los precios del petróleo están altos, así como la conveniencia de contar con plantas que permitan aprovechar innovaciones tecnológicas futuras que, por ejemplo, aumenten el rendimiento de los cultivos. Los efectos medioambientales también son mencionados y valorados por dicho autor, pero para efectos de este documento ellos no han sido considerados.
- x. De desarrollarse una industria de biocombustibles basada en la producción de biodiésel en base a raps, escenario que parecería más factible, las primeras plantas debieran localizarse en la provincia de Bío Bío y Cautín.
- xi. Finalmente, si bien las conclusiones de este trabajo no resultan auspiciosas para el desarrollo de una industria de biocombustibles en Chile, no se puede dejar de mencionar que ésta es una industria de gran dinamismo y por lo tanto, existe un valor de opción asociado a ingresar hoy a un mercado para capitalizar el *know how* futuro. Este valor puede ser muy alto y justificar, por sí mismo, la decisión estratégica de producir biocombustibles, a pesar de que con la tecnología actual aparezca como poco rentable.¹⁰ Al respecto cabe señalar que la producción de biocombustibles de segunda generación a partir de materiales lignocelulósicos constituye una opción de futuro en la cual el país podría tener muchas ventajas competitivas.

¹⁰ Desgraciadamente también es posible argumentar que existe un valor de opción de esperar a que se clarifique la situación de competitividad de los biocombustibles, una vez que las tecnologías en desarrollo a nivel experimental se transformen o no en procesos industriales factibles.

9 Referencias

Aranda, Ignacio (2007). “Análisis Agroeconómico de la Producción de Biocombustibles en Chile”. Memoria de Título. Universidad de Talca.

CEPAL (2005). “Explorando el Impacto de los Biocombustibles en la Estructura Agraria de América Latina”.

De Smet Engineers and Contractors (2006). “Biodiesel Project. Budget Quotation N° 06.031/01. Rapeseed, crushing plat, oil pre-treatment, biodiesel production”.

Jorge Quiroz C., Consultores Asociados S.A. (2007). “Elementos para una Evaluación Social del Biodiésel”.

ODEPA (2000). Productividad de cultivos anuales e industriales. Base de datos en Excel.

Universidad Santa María, CATA (2007). “Evaluación del Potencial Productivo de Biocombustibles en Chile con Cultivos Agrícolas Tradicionales”.

USDA, Foreign Agricultural Service. 2006. “Brazil Bio-Fuels Annual 2006”. Global Agriculture Information Network (GAIN) Report.

USDA, Foreign Agricultural Service. 2006. “Brazil Sugar Annual 2006”. Global Agriculture Information Network (GAIN) Report.

USDA, Foreign Agricultural Service. 2006. “China, Peoples Republic of Bio-Fuels An Alternative Future for Agriculture 2006”. Global Agriculture Information Network (GAIN) Report.