

ESTUDIO: “Valorización energética de residuos agropecuarios en la Provincia de Valdivia, integradas a un sistema de gestión de abastecimiento sostenible, para producción de biogás en unidades centralizadas de cogeneración, biofertilizantes y reducción de contaminantes”

EST-2008-0204

PLAN DE NEGOCIOS

Noviembre 2009

OFICINA DE PARTES 2 FIA	
RECEPCIONADO	
01 DIC 2009	
Fecha
Hora	12:00
Nº Ingreso	9/69

Índice

1.	Identificación de nichos de mercado	4
2.	Plan de Negocio para empresa de bioenergía/biofertilizante.....	6
2.1	Resumen Ejecutivo	6
2.2	Descripción de la empresa	9
2.3	Idea de negocio y producto.....	10
2.4	Mercado y Competencia	28
2.5	Comercialización y distribución.....	36
2.6	Forma de empresa.....	39
2.7	Financieros.....	41
2.8	Evaluación de los riesgos y escenarios alternativos.....	44
3.	Impacto de la incorporación de los productos en la estructura productiva.....	45

Introducción

El presente informe pretende entregar las bases para la confección de un Plan de Negocios para la implementación de una Planta de Digestión Anaerobia. El motivo para adoptar este formato en lugar de, directamente un plan de negocios se debe a que la elaboración de éste implica la adopción de criterios mucho más específicos sobre los alcances de un proyecto, cuestión que no se puede resolver a priori, pues existirán diferencias entre los modelos de operación, proyecciones y decisiones que adoptarán los encargados de cada Planta tomando en consideración las condiciones específicas en las que se desenvolvería el proyecto. De este modo, el documento que se ofrece a continuación, busca aportar una mirada general sobre los aspectos que se han considerado más importantes a tener en cuenta para la explotación exitosa de este tipo de instalaciones y las posibilidades de negocios factibles de desarrollar a partir de los modelos de plantas propuestas.

El proyecto, contempla la instalación de Plantas Industriales de Digestión Anaerobia, destinada a productores agrícolas/lecheros, pero que a la vez puede ser aplicada para otro tipo de productores industriales que cuenten con una generación importante de residuos orgánicos, para la producción de Energía Eléctrica y recuperación de calor del proceso, a través de un módulo de cogeneración.

Para que la eficiencia de producción eléctrica alcance valores que justifiquen el desarrollo del proceso, la instalación de este tipo de planta está dirigida a productores que cuenten con una generación mínima estimada de 25 ton/d (aunque estos valores pueden variar dependiendo de cada caso y el tipo de residuos). En el caso de productores lecheros o ganaderos, esto correspondería a los residuos generados por unos 400 animales.

De esta forma, podemos establecer como potenciales interesados a grandes productores agrícolas/lecheros, pequeños productores capaces de agruparse y centralizar la gestión de sus residuos, industrias agroalimentarias, municipios, entre otros, quienes podrán utilizar este documento como base para la confección de sus planes de negocio.

1. Identificación de nichos de mercado

La instalación de Plantas de Biogás, indudablemente reportan una cantidad de beneficios que han impulsado el desarrollo de ésta tecnología a nivel mundial, con una clara preocupación en los distintos países por lograr las adaptaciones necesarias para poder integrar estos sistemas de forma exitosa a su realidad particular.

Cada vez en Chile se va generando mayor interés por su implementación, ya sea a través de la adaptación de la tecnología a sistemas simplificados y de baja inversión (y menores beneficios), o la instalación de plantas con tecnología superior y probada en su eficiencia en países más desarrollados. Si bien, aun existen trabas y falta de apoyos más directos para lograr impulsar una generalización en su uso, hay que destacar que el escenario ha mejorado y hoy en día es posible diseñar proyectos económicamente viables, sustentados principalmente en la venta de la energía producida a la red eléctrica, aunque restringidos aún a la capacidad de generación, de modo que se pueda justificar los montos de inversión.

Respecto al mercado que se abre a partir de los productos de la Planta de Biogás, las opciones principales, además del autoconsumo son:

- Venta de la Energía Eléctrica a la red de distribución
- Venta de Energía Térmica (agua caliente)
- Venta de Biometano mediante red de gas natural
- Venta de Bioabono

En cuanto a la venta a la red eléctrica, en los últimos años el escenario para el desarrollo de proyectos eléctricos a partir de Energías Renovables no Convencionales (ERNC) ha ido mejorando, fundamentalmente a través de la promulgación de leyes e instrumentos de fomento, que promuevan la incorporación de generadoras eléctricas de ERNC a la matriz eléctrica nacional. Entre las principales medidas se encuentran las modificaciones a la Ley General de Servicios Eléctricos (ley corta I y II), y la Ley para el Desarrollo de las ERNC. En ellas se abre el acceso a los sistemas de transmisión y distribución eléctricos a las pequeñas y medianas generadoras, estipulando la

excepción del pago de peaje por uso del sistema de transmisión troncal, la obligación de las empresas distribuidoras a permitir la conexión a sus redes y el acceso a los mismos mercados que el resto de generadoras (spot, cliente libre y empresas distribuidoras). Fundamental resulta la obligación por parte de las empresas eléctricas que comercializan energía en los mayores sistemas eléctricos (SIC y SING), de acreditar que a contar del año 2010 al 2015, un 5 % de la energía utilizada a sido generada en base a ERNC, incrementándose este valor a contar del 2015 en un 0,5% anual, hasta alcanzar el año 2024 el 10 % de la generación total en la matriz eléctrica.

Si consideramos que para el año 2007 las ERNC constituían solo un 2,7 % de la generación total a nivel nacional, las perspectivas de crecimiento en el mercado eléctrico avalan el estudio e implementación de Plantas Productoras de Biogás.

Otra opción de mercado para la utilización del biogás es su uso como combustible primario. Para esto existen 2 alternativas de utilización: la fabricación de gas de ciudad (con proporciones de metano bastante similares al biogás) y su distribución a través de una red de cañerías; o como biometano, de mejor calidad y características similares al gas natural (95% CH₄), y con el mismo abanico de aplicaciones, ya sea la distribución por cañerías o su uso en motores de vehículos, etc. En ambos casos, se requiere la incorporación de nuevas inversiones en la Planta de Biogás, ya que este debe ser procesado para llevarlo a condiciones de utilización para los clientes finales (purificado, almacenado, comprimido, distribuido, etc.), por lo que la factibilidad de esta opción dependerá fundamentalmente de los volúmenes de biogás producidos, siendo una posibilidad principalmente para grandes plantas (flujos mayores a los 500 m³/h de biogás) que escaparía al alcance de los sistemas planteados en este estudio. Dependiendo de la alternativa los precios de comercialización esperados serán semejantes a los combustibles que reemplaza. Como ejemplo, se puede citar la incorporación del biogás producido en la planta La Farfana, en Santiago para la producción de gas de ciudad para uso residencial y su distribución a clientes de la empresa Metrogas.

Por último, es importante considerar el material residual del proceso de biodigestión. Consiste en un lodo (Bioabono) compuesto por biomasa, materia orgánica difícil de

degradar, y lo más importante, prácticamente la totalidad de los nutrientes que ingresan al proceso, que al ser sometido a la digestión se encuentran parcialmente estabilizados y tras una breve maduración final (aerobia) puede ser aplicados directamente como un excelente mejorador de suelos o fertilizante natural. Otra opción, que permite una mayor valorización, pero requiere mayor procesamiento, consiste en la separación de la fracción líquida y sólida, conocidas respectivamente como Biol (fertilizante líquido foliar) y Biosol, fertilizante sólido similar al compost, aunque requiere menores volúmenes en su aplicación. El origen natural de estos compuestos los convierte en una excelente opción para su aplicación en la agricultura orgánica, que se desarrolla cada vez más en el país, aunque también es un excelente complemento en cualquier cultivo, reemplazando o disminuyendo la necesidad de aplicación de otros tipos de fertilizante. Algunas opciones de comercialización la constituyen la venta a granel a agricultores cercanos a la Planta de Biogás (ya sea del Bioabono, Biol o Biosol) o su procesamiento para venta como producto de calidad a viveros o mercados minoristas, lo cual requerirá el desarrollo de toda una nueva área de procesos y negocios.

Pese a ser una opción viable, ante las dificultades y esfuerzos extra que demanda para su comercialización, la opción más simple para su valorización sigue siendo su utilización en los cultivos propios, traduciéndose en un ahorro directo en el uso de fertilizantes por parte del productor.

2. Plan de Negocio para empresa de bioenergía/biofertilizante

2.1 Resumen Ejecutivo:

En el siguiente informe, se presentan las principales características para la explotación de 2 modelos de plantas de biodigestión anaerobia, para la producción de biogás, para su valorización mediante la obtención de energía eléctrica, térmica y bioabono.

Debido a la magnitud de las Plantas, se plantea como negocio principal y con la condición de sostener y justificar la inversión por si mismo, la producción de

electricidad, para su aprovechamiento mediante autoconsumo en las propias instalaciones y la exportación y venta a la red de distribución eléctrica.

Además de la electricidad, existe una recuperación de energía térmica (calor) fundamentalmente aprovechable en las cercanías de la instalación y valorizable mediante el ahorro de otros combustibles; y producción de una corriente semisólida capaz de ser aprovechada como abono orgánico, desde niveles muy básicos, mediante su aplicación y valorización en cultivos propios de las instalaciones o mediante la elaboración de productos para la comercialización a otros agricultores o particulares. Estas condiciones solo se considerarán en el análisis de escenarios más favorables, aunque se entrega información respecto a estos productos y sus posibles beneficios a lo largo de todo este informe.

Las capacidades de los 2 modelos de plantas propuestas se describen a continuación:

	Planta 1	Planta 2
Volumen fermentador, m ³	2000	4000
Afluente, ton/d	27,5 - 50	55 - 130
Pot. Eléctrica KW	72 - 215	300 - 700
Pot. Térmica, KW	105 - 314	420 - 1000
Biol, ton/d	23 - 42	45 - 107
Biosol, ton/d	3 - 6	7 - 15

En el caso de la Planta 1, su análisis para una producción de 190 KW_{el}, considerando una capacidad de venta a la red del 100%, arrojó los siguientes resultados financieros:

Van: \$35.327.933 Tir: 17,63% Pri: 4,67 (años)

Respecto a la Planta 2, considerando una generación de 380 KW_{el}, y los mismos niveles venta a la red, tenemos:

Van: \$297.489.410 Tir: 28,88% Pri: 3,25 (años)

Considerando como escenario optimista la valorización de la producción de bioabono a un precio marginal de 2.000 \$/ton, e incorporándolo al análisis anterior, tenemos:

Planta 1: aprovechamiento 25 %, 50 %

25%

Van: \$37.921.162 Tir: 17,70% Pri: 4,66 (años)

50%

Van: \$57.416.067 Tir: 19,05% Pri: 4,44 (años)

Planta 2: aprovechamiento 25 %, 50 %

25%

Van: \$319.577.484 Tir: 29,45% Pri: 3,20 (años)

50%

Van: \$358.567.293 Tir: 31,10% Pri: 3,05 (años)

2.2 Descripción de la empresa

Nombre o razón social	
Fecha de iniciación de actividades	
Ubicación	
Nombre de los propietarios o integrantes de la sociedad	
Personal ocupado	
Breve historia del negocio, eventos de mayor importancia, logros del negocio y antecedentes más destacados, principalmente en ventas.	

2.3 Idea de negocio y producto:

Las Plantas de Biogás no son algo nuevo en el mundo, y su uso a nivel mundial cada vez se generaliza más debido a la cantidad de beneficios que reporta.

Una planta de biogás responde a una necesidad creciente de dar solución al problema de la disposición de los residuos generados en las distintas instalaciones agropecuarias u otros puntos de generación de residuos orgánicos, y a partir de esto obtener productos útiles para la empresa, que pueden reportar grandes beneficios para la empresa, ya sea, mediante su utilización directa o autoconsumo, o a través de su comercialización, abriéndose 2 interesantes áreas de negocio para la empresa, ya sea mediante la producción de recursos energéticos a partir del biogás (electricidad y calor) y/o la generación de bioabono para el mejoramiento de los suelos de cultivo.

2.3.1 Descripción de los productos

Como producto principal del proceso se encuentra el biogás, una fuente de energía renovable, que consiste en un gas combustible compuesto principalmente por metano (50-70 %), dióxido de carbono (30-50 %) y trazas de otros gases, de los cuales algunos pueden ser perjudiciales para su uso final y requieren ser removidos, como el ácido sulfhídrico (H_2S).

El biogás posee un poder calorífico aproximado entre 4500-7000 kcal/m³, que puede ser aprovechado mediante su combustión directa en procesos térmicos, o por ejemplo, como en el caso de las plantas propuestas, para la alimentación de una unidad cogeneradora, mediante la cual se obtiene Energía eléctrica y Energía térmica, para su consumo directo o venta a terceros. Este proceso consiste en la quema del biogás en un motor de combustión interna, el cual tiene acoplado a su eje un generador para la producción de electricidad. Esta conversión generalmente tiene una eficiencia entre un 30 a 40 %. De este modo, mediante su conexión a la red eléctrica, la energía producida puede ser vendida a las distribuidoras o clientes directos, ya sea en su totalidad o de los excedentes al consumo propio.

Por otra parte, se cuenta con un sistema de recuperación del calor del proceso, para la producción de energía térmica (agua caliente y/o vapor), mejorando la eficiencia

general del sistema con una recuperación total de energía útil (eléctrica y térmica) mayor al 80 %. La energía térmica producida, se ocupa en la calefacción de los digestores, y los excedentes se pueden utilizar en los procesos internos que lo requieran (calefacción o refrigeración de ambientes por ejemplo).

Como segundo producto se tiene un lodo rico en nutrientes y materia orgánica, denominado **Bioabono**, que contiene el material no degradado y la materia estabilizada, conteniendo prácticamente la totalidad de los nutrientes presentes en el residuo alimentado (N,P,K, etc.), generalmente con un contenido de sólidos entre 5-8% (aunque en algunos sistemas podrían obtenerse valores sobre el 20%), lo cual luego de un periodo de maduración final aerobia, podría ser aplicado a los cultivos mediante aspersión o a través de los sistemas de riego, para el mejoramiento de los terrenos, reemplazando o complementando el uso de fertilizantes o abonos como compost o guano.

Mediante la incorporación de algunos elementos al proceso, el bioabono puede ser separado en una fracción líquida, conocida como **Biol**; y una fracción sólida, denominada **Biosol**, ambas con excelentes propiedades fertilizantes y estimulantes del crecimiento y desarrollo de los cultivos; y de mejoramiento de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. Estas propiedades los convierten en productos muy atractivos para los productores agrícolas (mas aún en agricultura orgánica), lo cual ofrece un gran potencial para el desarrollo de toda un área negocios a través de su comercialización

2.3.2 Características técnicas de los productos

2.3.2.1 Biogás

Las características del biogás dependen directamente de los residuos utilizados en el proceso de biodigestión, pese a esto se pueden establecer ciertos rangos típicos en su composición. Sus componentes principales son el metano y dióxido de carbono, el resto, en cantidades mucho menores o trazas, corresponde a vapor de agua, hidrógeno y ácido sulfhídrico, entre otros.

El biogás con estas composiciones es combustible y su poder calorífico corresponde al del metano, por lo que dependerá directamente de la composición de este compuesto encontrándose en un valor entre 4500-7000 Kcal/m³ aproximadamente.

La siguiente tabla presenta composiciones típicas del biogás para diferentes sustratos:

Gases	Desechos agrícolas	Lodos cloacales	Desechos industriales	Rellenos sanitarios	Propiedades
Metano	50 - 80%	50 - 80%	50 - 70%	45 - 65%	combustible
CO ₂	30 - 50%	20 - 50%	30 - 50%	34 - 55%	ácido, asfixiante
Vapor de agua	saturación	saturación	saturación	saturación	corrosivo
Hidrógeno	0 - 2%	0 - 5%	0 - 2%	0 - 1%	combustible
H ₂ S	100 - 7000ppm	0 - 1%	0 - 8%	0,5 - 100ppm	corrosivo, olor, tóxico
Amoniaco	trazas	trazas	trazas	trazas	corrosivo
CO	0 - 1%	0 - 1%	0 - 1%	trazas	tóxico
Nitrógeno	0 - 1%	0 - 3%	0 - 1%	0 - 20%	inerte
Oxígeno	0 - 1%	0 - 1%	0 - 1%	0 - 5%	corrosivo
Orgánicos	trazas	trazas	trazas	5ppm	corrosivo, olores

(Fuente: Wheatley, 1990)

En estas condiciones, el biogás puede ser utilizado directamente como combustible primario en calderas, por ejemplo, aunque en general debe ser sometido a algunos procesos de purificación o adaptación para su mejor utilización y protección de los equipos involucrados.

Debido a que el biogás generalmente está más tibio que las cañerías por las que circula se produce la condensación del vapor, por lo cual generalmente se instalan trampas de vapor para drenar el condensado.

Uno de los compuestos que mayor preocupación causa, por su alta reactividad y capacidad corrosiva, corresponde al ácido sulfhídrico (H_2S), el cual debe ser retirado hasta niveles mínimos con el fin de proteger cañerías y equipos como motores para la utilización del biogás. De este modo el biogás queda en condiciones para ser utilizado por ejemplo en una unidad cogeneradora para la producción de electricidad y energía térmica. La siguiente tabla presenta algunas características típicas de módulos de cogeneración disponibles comercialmente:

	Modelo EG-43	Modelo EG-140	Modelo EG-250	Modelo EG-405
Potencia Eléctrica, KW	43	140	250	405
Potencia Térmica, KW	63	205	344	513
Emisiones NO_x , mg/Nm ³	<125	<250	<500	<500
Emisiones CO , mg/Nm ³	<150	<300	<300	<300
Modo Transmisión	Síncrono	Síncrono	Síncrono	Síncrono
Voltaje, V	400	400	400	400
Corriente, A	62	202	361	585
Frecuencia, Hz	50	50	50	50

(Fuente: Yados, 2009.)

En el caso de su utilización como gas de ciudad, para la producción de Biometano (similar al gas natural), el biogás debe ser sometido a procesos más estrictos de purificación, con el fin de disminuir su composición de compuestos indeseables y para eliminar el contenido de CO_2 y alcanzar composiciones de metano sobre el 90 %. Además se deben considerar instalaciones para almacenar y comprimir el biogás, para poder ser transportado a través de las redes de cañerías. Todo esto requiere grandes inversiones en las instalaciones necesarias, por lo que se justificaría solo en caso de plantas con grandes volúmenes de producción de biogás.

2.3.2.2 Bioabono

Las características y calidad del bioabono dependerán directamente del tipo de material de entrada al proceso de biodigestión. En el se conservan prácticamente la totalidad de los nutrientes contenidos en el residuo alimentado (N,P,K y micronutrientes), lo cual lo hace un material valioso para la agricultura, además de aportar materia orgánica estabilizada, mejorando las condiciones del terreno. Típicamente se obtiene como un material con alto contenido de agua, (> 90%) y

posterior a un período final de estabilización aerobia puede ser aplicado en las etapas de preparación de los terrenos para la siembra, reemplazando o complementando la utilización de otros fertilizantes y generando un ahorro en esta materia.

Un punto a destacar se refiere al contenido de compuestos orgánicos persistentes, metales pesados, antibióticos u otros compuestos que puedan resultar peligrosos para su aplicación en cultivos. Como se dijo anteriormente la presencia de estos compuestos dependerá de la composición de los residuos alimentados al proceso, por lo que es necesario evaluar estos parámetros para asegurar la inocuidad del bioabono producido.

Además de la aplicación directa del Bioabono, una opción para agregar mayor valor, consiste en realizar la separación de la fracción líquida y sólida del Bioabono, para la obtención de productos de mejor calidad conocidos como Biol y Biosol respectivamente.

2.3.2.3 Biol

El biol se obtiene de la filtración del bioabono para la obtención de la fracción líquida contenida en él y corresponde a un fertilizante líquido foliar, que puede ser aplicado a los cultivos mediante aspersión, actuando como un promotor y fortalecedor del crecimiento de la planta, raíces y frutos. Actúa sobre la floración, el follaje, el enraizamiento y como activador de las semillas. Estas características se deben principalmente a su contenido en hormonas vegetales o fitohormonas, que en bajas concentraciones, regulan los procesos fisiológicos de las plantas y promueven su desarrollo físico. Estas hormonas se obtienen como un desecho metabólico de los microorganismos anaerobios, no encontrándose por ejemplo en los procesos de compostaje aerobios.

La siguiente tabla muestra la composición química del Biol obtenido a partir de diferentes sustratos:

Componente	Biol estiércol vacuno	Biol mezcla: estiércol vacuno + restos comida	Biol restos de banano	Biol estiércol vacuno
pH	7,96	8,1	No menciona	6,7 - 7,9
Materia Seca	4,18 %	4,2 %	No menciona	1,4 %
Nitrógeno total	2,63 g/Kg	2,4 g/Kg	0,2 g/Kg	0,9 g/Kg
NH ₄	1,27 g/Kg	1,08 g/Kg	No menciona	No menciona
Fósforo	0,43 g/Kg	1,01 g/Kg	0,076 g/Kg	0,048 mg/Kg
Potasio	2,66 g/Kg	2,94 g/Kg	4,2 g/Kg	0,29 mg/Kg
Calcio	1,05 g/Kg	0,50 g/Kg	0,056 g/Kg	2,1 g/Kg
Magnesio	0,38 g/Kg	No menciona	0,131 g/Kg	0,135 %
Sodio	0,404 g/Kg	No menciona	2,1 g/Kg	No menciona
Azufre	No menciona	No menciona	6,4 mg/Kg	0,33 mg/L
Carbono	No menciona	No menciona	1,1 g/Kg	0,23 - 0,30 g/Kg
Aluminio	No menciona	No menciona	0,04 mg/Kg	No menciona
Boro	No menciona	No menciona	0,56 mg/Kg	No menciona
Zinc	No menciona	No menciona	No menciona	0,05 mg/L

(Fuente: German ProfEC, 2008)

La próxima tabla indica la composición bioquímica del Biol y su contenido en hormonas vegetales que le otorgan propiedades fitoregulatoras y estimulantes.

Componentes	Cantidad
Acido indol acético	9 ng/g
Giberelina	8,4 ng/g
Purinas	9,3 ng/g
Citoquininas	No detectado
Tiamina (Vit B1)	259,0 ng/g
Riboflavina (Vit B2)	56,4 ng/g
Adenina	No detectado
Ácido fólico	6,7 ng/g
Ácido pantoténico	142,0 ng/g
Triptofano	26,0 ng/g
Inositol	No detectado
Biotina	No detectado
Niacin	No detectado
Cianocobalamina (Vit B12)	4,4 ng/g
Pirodoxina (vit B6)	8,6 ng/g

(Fuente: Aparcana, 2005. Siura, 2008. En German ProfEC 2008)

2.3.2.4 Biosol

El Biosol corresponde al contenido sólido del Bioabono, que luego de ser sometido a un proceso de maduración final aerobio, se encuentra en condiciones para ser aplicado a los terrenos, mejorando sus propiedades físicas, químicas y biológicas, y aportando con micro y macronutrientes para el desarrollo vegetal. Su composición dependerá de

los residuos utilizados en la biodigestión, por lo que su calidad puede ser manejada a partir de los residuos seleccionados para el proceso. En el se conservan casi la totalidad de los nutrientes presentes en el residuo alimentado al proceso, y es un material idóneo para la agricultura orgánica, uso en viveros y en general para todo tipo de cosechas sobre todo por su aporte en el mejoramiento de la estructura del suelo.

La siguiente tabla, muestra la composición de Biosol obtenido de la digestión de estiércol vacuno, uno de los sustratos más típicos en el uso de bioreactores, el cual no posee un alto contenido de nutrientes debido a que el estiércol ya ha sido sometido a un proceso de digestión anterior por el animal.

Componentes	%
Agua	15,7
Sustancia orgánica seca	60,3
pH	7,6
Nitrogeno total	2,7
Fósforo P ₂ O ₅	1,6
Potasio K ₂ O	2,8
Calcio (CaO)	3,5
Magnesio (MgO)	2,3
Sodio (Na)	0,3
Azufre (S)	0,3
Boro (B) ppm	64

(Fuente: Aparcana, 2005, en German ProfEC 2008)

2.3.3 Diferenciación con otros productos de la competencia.

Energía

Dentro de las características que diferencian la producción energética (primaria y/o secundaria) a partir de la utilización del biogás podemos señalar las siguientes:

Ventajas:

- Se trata de una fuente renovable no convencional, por lo tanto se puede acoger al establecimiento de tratos especiales para los medios de generación de ERNC, (Ley corta I y II y Ley de ERNC), que liberan del pago de peajes en el sistema de transmisión troncal a las fuentes generadoras de menos de 9 MW, aseguran el acceso a los sistemas distribución a las pequeñas centrales, y la obligación por parte de las empresas que comercializan energía de acreditar la inyección de un porcentaje de esta, en base a la generación por medios de ERNC (5 % a contar del 2010, llegando al 10 % el 2024).
- Se puede obtener a partir de recursos disponibles, fomentando la autonomía energética y la generación eléctrica distribuida.
- A diferencia de otras fuentes energéticas renovables, la biodigestión se presenta además como un proceso de tratamiento de residuos, previniendo la degradación ambiental, significando un plus sobre la generación energética.
- Su implementación es menos compleja que otros sistemas de ERNC, lo cual puede significar preferencias ante la urgencia por satisfacer la demanda eléctrica de este tipo de energías.

Desventajas:

- Aún es una tecnología poco conocida en Chile, existiendo pocos casos prácticos o experiencias de aplicación local, por lo que aún se debe realizar un proceso de difusión para vencer los temores y dudas de los posibles generadores.

- Por tratarse en general de proyectos de generación de pequeño tamaño, los costos de conexión a la red, dependiendo de las distancias a las instalaciones, pueden aumentar drásticamente los costos de inversión del proyecto, mermando su viabilidad.
- Preferencias por parte de inversores, empresas generadoras y distribuidoras eléctricas, por los grandes proyectos de generación (megacentrales) y falta de políticas de apoyo a los pequeños proyectos de generación distribuida.
- No existen diferenciación entre tarifas eléctricas según la fuente de generación, por lo que se debe competir directamente contra las tecnologías de generación convencional y precios de mercado.

Bioabono

El bioabono y sus derivados (Biol, Biosol), pueden llegar a competir frente a los fertilizantes tradicionales, aunque debido a las tendencias de la agricultura intensiva se dificulta su implementación como reemplazo de éstos. Sin embargo, dependiendo de la calidad del material, puede actuar como un complemento en la fertilización tradicional, disminuyendo las necesidades de estos productos.

Si bien se puede considerar que el bioabono no logra aportar la totalidad de nutrientes que se aplica a los niveles intensivos, su uso a largo plazo mejora eficazmente las condiciones del suelo, incorporando en el tiempo su contenido nutricional, aportando materia orgánica para la recuperación del suelo y mejorando su estructura física, con lo que se esperaría una necesidad cada vez menor de fertilizantes artificiales.

Por otra parte, el bioabono se puede establecer como un competidor directo frente a otros materiales utilizados en agricultura, como el compost o el estiércol de aves o ganado que se aplica en la preparación de los terrenos, presentando mejores resultados. Además es un producto idóneo para utilizarse en agricultura orgánica, pudiendo competir eficazmente con los productos utilizados en esta área.

Si comparamos el bioabono producido a partir de estiércol, con el mismo estiércol que es utilizado directamente como abono o enmienda orgánica, se puede apreciar la

mejoría en la calidad del material. Si bien el proceso de digestión reduce el contenido de materia orgánica presente en el estiércol fresco, ésta nunca es degradada al 100%, con lo cual el bioabono sigue aportando sus nutrientes y además presenta mayor calidad al encontrarse más estabilizado. Todos los nutrientes esenciales para el crecimiento de la plantas, como el nitrógeno, fósforo, potasio y magnesio, se conservan durante la digestión, a excepción del azufre, pues una parte es transformada en H₂S y se pierde en el biogás. Además debido al proceso de digestión, parte del carbono se transforma en biogás, disminuyendo su contenido en el lodo y la relación C/N, con lo que mejora las propiedades fertilizantes (ODEPA 2009).

En cuanto al nitrógeno, en el estiércol fresco cerca del 75% se encuentra en forma orgánica, el cual no es asimilable por las plantas, pudiendo solo acceder al 25% restante. El aporte de nitrógeno en su forma orgánica puede traer problemas de contaminación de los suelos o de napas subterráneas al no ser asimilados y terminar repercutiendo en una contaminación por formación y arrastre de nitratos. Mediante el proceso anaerobio, el nitrógeno orgánico es mineralizado y transformado a sus formas inorgánicas como nitrógeno amoniacal, encontrándose disponible para su asimilación por las plantas. La siguiente tabla compara la disponibilidad de nitrógeno entre el estiércol bovino y el bioabono (estiércol digerido):

	Estiércol Bovino fresco	Estiercol Bovino Digerido
Sólidos totales	10,0%	6,80%
Sólidos volátiles	7,40%	4,70%
pH	7,4	7,8
Nitrógeno total (respecto al sustrato fresco)	0,41%	0,38%
Porcentaje de amonio con respecto al nitrógeno total	49%	58%
Aumento de amonio		20%
Porcentaje de degradación		37%

(Fuente: Eder, B. Schulz, H. 2006, en ODEPA, 2009)

Si el bioabono es procesado, y separado en sus fracciones líquida y sólida, se pueden producir productos de mayor calidad y valor. A continuación se presentan algunas ventajas del uso del Biol y Biosol (German ProfEC, 2008):

Ventajas Biol

- El uso del Biol permite un mejor intercambio catiónico en el suelo, mejorando la disponibilidad de nutrientes del suelo. Además conserva la humedad del suelo y ayuda a la creación de un microclima adecuado para las plantas
- El Biol se puede aplicar como fertilizante líquido mediante aspersión a las plantas.
- Se puede aplicar añadido al agua de riego mediante sistema de irrigación.
- Al ser una fuente orgánica de fitoreguladores en pequeñas cantidades promueve la actividad fisiológica y el desarrollo de las plantas, sirviendo para: enraizamiento (aumenta y fortalece la base radicular), el follaje (amplia la base foliar), mejora la floración y activa el vigor y poder germinativo de las semillas, todo lo cual se traduce en mejores cosechas
- Es capaz de competir con los fertilizantes químicos, lográndose resultados similares y mejores solo con la utilización de Biol.

Ventajas Biosol

- El uso de este abono hace posible regular la alimentación de la planta. Se fortalecen los cultivos y mejoran los rendimientos. Permite el uso intensivo del suelo mejorando a la vez su calidad.
- Al aplicarse en suelos arenosos, aumenta su cohesión y con ello la retención de los nutrientes en el suelo.
- Mejora la estructura del suelo y la retención de humedad, favoreciendo la actividad biológica. Aumenta la porosidad y por lo tanto la permeabilidad y ventilación.
- Se puede combinar con material para compostaje, aumentando la velocidad del proceso.
- Presenta un mejor desempeño que otros abonos. Se requerirían entre 2 – 4 ton/Ha, en comparación con el estiércol que se aplicaría de 15 – 30 ton/Ha o el compost, donde se requerirían alrededor de 10 – 20 ton/Ha. Se debe señalar que estos valores son referenciales, y que dependen directamente del tipo de suelo y cultivo.
- Inhibe el crecimiento de hongos y bacterias que afectan a las plantas.
- Reduce la erosión del suelo.
- Su contenido nutricional se encuentra mineralizado y disponible para su asimilación por las plantas.

Desventajas Bioabonos (Biol y Biosol).

En general, la utilización y aprovechamiento del bioabono debe sortear una serie de obstáculos debido a las cantidades generadas y la poca especialización en el manejo posterior al proceso de digestión, algunos de estos son:

- El hecho de tratarse del producto de materiales de desecho puede cargar con los prejuicios de algunos productores para su aplicación en agricultura debido a factores sanitarios.
- Resistencia a la aplicación de nuevos productos, manteniéndose la producción en base a fertilizantes químicos.
- Resultados a largo plazo sobre las cosechas. El efecto de mejoramiento del suelo puede no ser apreciado de forma clara por el aumento de cosechas en las primeras aplicaciones.

2.3.4 Descripción de Instalaciones y capacidad productiva

En este documento se evalúan 2 plantas tipo, con distintas capacidades, pero que en general cuentan con los mismos elementos para su funcionamiento. Podemos identificar los siguientes componentes o estructuras principales en la planta:

- Estanque de recepción de sustrato
- Fermentador
- Estanque de acumulación de bioabono
- Unidad cogeneradora
- Sala de operaciones
- Equipos y sistemas de apoyo (bombas, fitting, etc.)

La mayor diferencia entre ambas plantas, radica en la utilización de 2 estanques fermentadores en la Planta 2, otorgándole mayor capacidad de alimentación de sustrato.

Para las plantas propuestas tenemos:

- **Modelo 1:** La Planta 1, posee una capacidad de fermentación cercana a 2.000 m³ para la alimentación de 27,5 a 50 ton/d de residuos. La capacidad eléctrica y térmica está entre 72 - 215 KW y 105 - 314 KW respectivamente. Dependiendo

de la alimentación se producen entre 26 y 48 ton/d de efluente estabilizado (Bioabono), del que se podrían obtener 23 – 42 ton/d de Biol y 3 – 6 ton/d de Biosol.

- **Modelo 2:** La Planta 2, posee una capacidad de fermentación cercana a 4.000 m³ para la alimentación de 55 a 130 ton/d de residuos. Su capacidad eléctrica y térmica es de 300 - 700 KW y 420 - 1000 KW respectivamente. Dependiendo de la alimentación se producen entre 52 y 122 ton/d de efluente estabilizado (Bioabono), del que se podrían obtener 45 – 107 ton/d de Biol y 7 – 15 ton/d de Biosol.

En la tabla a continuación se resumen las principales características y rangos de trabajo de cada una de las plantas:

	Planta 1	Planta 2
Volumen fermentador, m ³	2000	4000
Afluente, ton/d	27,5 - 50	55 - 130
Pot. Eléctrica KW	72 - 215	300 - 700
Pot. Térmica, KW	105 - 314	420 - 1000
Biol, ton/d	23 - 42	45 - 107
Biosol, ton/d	3 - 6	7 - 15

2.3.5 Definición del negocio

La instalación de una planta de biogas, se concibe principalmente bajo 2 modalidades diferentes: como un sistema de tratamiento de residuos orgánicos, donde la obtención energética es una consecuencia que favorece la viabilidad del proyecto; o como un sistema para la producción de ERNC y subproductos, siendo la estabilización de los residuos una consecuencia favorable del proceso. La diferencia entre ambas visiones, radica en la importancia que se da a cada proceso, privilegiando uno por sobre el otro.

En este sentido la instalación de plantas anaerobias en Chile respondería a una combinación de ambas modalidades, aunque más orientada a la obtención de productos útiles valorizables que al tratamiento, principalmente la producción energética, que concita mucho más interés que el tratamiento de los residuos, básicamente porque aún no existe una legislación desarrollada para el manejo de residuos sólidos en Chile, aunque se avanza en esta materia.

a) Mercado Primario: Energía eléctrica a partir de Biogás

Se plantea como área de negocios principal la producción de energía eléctrica, la cual tendrá como prioridad la satisfacción de las necesidades propias de la empresa, es decir, su autoconsumo, ya que es la forma en que mejor se valorizará la energía producida mediante el ahorro que genera en la compra de energía a la red eléctrica, además de requerir menores instalaciones para su implementación.

Debido a que por el tamaño de las plantas presentadas se esperaría la generación de excedentes energéticos (posterior al autoconsumo), se plantea el ingreso al mercado eléctrico, ya sea para la venta de energía a las empresas distribuidoras o a clientes libres, dependiendo cual representa las mejores alternativas económicas y acogiéndose a los beneficios establecidos por la ley para los Pequeños Medios de Generación (PMG) como productor de ERNC, como el aseguramiento del derecho de conexión a las redes de distribución, la exención de pagos de peaje por uso de los sistemas de transmisión, o la necesidad de las empresas eléctricas de incorporar al suministro energías provenientes de medios renovables no convencionales.

De la generación eléctrica además se obtendrá como subproducto la recuperación de energía térmica, que si bien se puede utilizar en procesos propios de calefacción o refrigeración (generando un ahorro de otras fuentes), debido a las magnitudes de generación, se presume la obtención de excedentes que podrían llegar a valorizarse mediante su venta a instalaciones cercanas. Aunque esto dependerá de cada caso en particular, por lo que no se puede determinar a priori el grado de aprovechamiento del calor producido y el ahorro o beneficios producidos.

b) Mercado Secundario: Bioabono y derivados

Una segunda área de negocios es la que se puede desarrollar a partir de la comercialización del Bioabono o los productos de su procesamiento (Biol y Biosol). Para esta opción existen varias posibilidades de implementación, crecientes en orden de complejidad:

- Autoconsumo del Bioabono, tendiendo al reemplazo parcial o total de otros elementos (enmiendas y fertilizantes artificiales)
- Venta a granel del Bioabono a agricultores de la zona (preferencia por agricultores orgánicos)
- Producción y venta de Biol y Biosol en grandes cantidades a agricultores de la zona.
- Producción y venta de Biol y Biosol a granel y envasado, para comercio detallista y agricultores, viveros, etc.

Al avanzar en cada una de estas opciones se presume una mayor cantidad de ingresos, debido a la mejor valorización en el mercado de los productos obtenidos, pero a su vez se requiere una mayor inversión en infraestructura y complejidad del proceso para lograr la calidad requerida. La producción de productos de calidad envasado escaparía de los alcances de las plantas propuestas en este trabajo. Aun así se recomienda tenerlo en consideración pues podría representar un atractivo negocio, con amplios beneficios, pero para esto es necesario evaluar por separado todo un nuevo proceso de inversiones y desarrollo de negocios.

Aún así la venta a granel a agricultores vecinos, y más aún la opción de autoconsumo del Bioabono, representan alternativas factibles, con una implementación no tan compleja y que traerá beneficios ya sea a través del ahorro generado al disminuir las necesidades de fertilizantes u otros insumos, la venta (incluso a costos relativamente bajos), el mejoramiento de la calidad de los terrenos o aumentos en la productividad de las cosechas, etc. Si bien en los análisis económicos suele considerarse solamente la valorización directa de los beneficios (ingresos por ventas, ahorros directos), no debe

dejarse de lado la serie de mejoras que aporta la utilización del Bioabono, Biol o Biosol y el potencial que podría representar para el crecimiento de la empresa.

c) Mercado opcional: Producción Biometano o uso de Biogás como combustible primario

Alternativamente se puede evaluar el procesamiento y distribución del biogás a través de cañerías para uso residencial o en instalaciones industriales cercanas como combustible primario, pero esto dependerá de las condiciones específicas de la zona de emplazamiento de la planta. De existir las condiciones, es interesante contrastarla con la alternativa de generación eléctrica. El Biometano es el resultado de la purificación del biogás, y presenta condiciones similares al gas natural por lo que es un reemplazante directo de este combustible y no requiere adaptaciones en los equipos para su utilización.

El mercado del gas natural es un mercado en crecimiento debido a la buena calidad de éste combustible, pero su oferta ha atravesado una serie de problemas en los últimos años debido a los cortes originados en el suministro desde Argentina. Actualmente esto se ha resuelto a través de la construcción de un terminal portuario para la recepción de Gas natural Licuado (GNL), que es inyectado a la red de gas natural para su distribución en Santiago, Gran Valparaíso y Concepción. La inyección de Biometano a las redes, estaría limitada a la distribución en estas ciudades, donde se ha desarrollado la infraestructura y logística necesarias. Aún así es interesante considerar la opción de valorizar el Biogás a través de la generación de Biometano y su venta a distribuidoras, debido al alto precio y requerimiento de este combustible.

2.3.6 Misión y Objetivos

La función de la planta es lograr el tratamiento de la totalidad de residuos generados, con la máxima obtención de energía y residuos estabilizados para su comercialización.

El primer objetivo planteado es alcanzar el pleno funcionamiento de la planta dentro del primer año de operación. Desde el proceso de construcción (3 meses), puesta en marcha (4° mes), operación estable (al 6° mes), hasta llegar a la operación plena en alimentación de sustrato y producción de energía (hasta el 12° mes).

Una vez logrado el funcionamiento estable de la planta, se procede al aprovechamiento de los productos obtenidos, mediante el funcionamiento de los módulos de co-generación instalados, para la obtención de Energía Eléctrica y Térmica, para el auto consumo según los requerimientos energéticos de la empresa, y la venta de los excedentes eléctricos a la red bajo el concepto de Pequeño medio de Generación de ERNC.

Por último, la obtención del sustrato tratado y su separación en una fracción líquida y sólida estables, permitirá su aprovechamiento y aplicación en el propio predio de la empresa para el mejoramiento de suelos y cultivos, logrando un ahorro en la aplicación de fertilizantes o enmiendas para la preparación de terrenos. Por otra parte, si bien escapa al alcance proyectado por las plantas propuestas, es factible, su valorización mediante su venta como abono orgánico, pudiendo constituir toda un área de desarrollo para el proyecto, pero que requerirá esfuerzos extras tanto en la inversión como en la preparación de la logística para la comercialización.

El objetivo de la empresa será el aprovechamiento total y máxima valorización del total de los productos obtenidos por biodigestión, tanto del Biogás, como del Bioabono.

Con el fin de vislumbrar las potencialidades así como los obstáculos para el desarrollo del proyecto se presenta el siguiente cuadro de análisis FODA

<p style="text-align: center;">FORTALEZAS</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Tecnología Limpia. • Tecnología probada a nivel mundial. En funcionamiento a distintas escalas. Gran acumulación de experiencia en su desarrollo. • Si se utilizan materiales residuales para la producción de biogás, no es necesario el cultivo de otros materiales para la alimentación. • Obtención de productos útiles valorizables: Energía y biofertilizantes. • Generación de beneficios ambientales y otras externalidades positivas. • Desarrollo técnico actual, permite operación sencilla. No se requiere grandes medios para capacitar a los operarios. • Generación de energía descentralizada (muchos puntos de generación). Potenciándose aprovechamiento local de esta. • Mitigación del cambio climático, por reducción de gases de efecto invernadero. • Uso flexible de las plantas, en términos del tipo de sustrato (admite distintas combinaciones). Generación energética como calor, electricidad o ambos. Adaptable a las condiciones de cada productor. • Fase de construcción y funcionamiento relativamente corta, en comparación a otras fuentes de generación energética. • Impactos negativos mínimos. Mediante una buena gestión no existe prácticamente generación de residuos., ni malos olores. • Obtención in situ de la materia prima para alimentación del digestor, evitando costos en transporte.
<p style="text-align: center;">OPORTUNIDADES</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Tendencias mundiales a nivel político y social por la implementación y uso de ERNC • Aumento continuo de los precios de la energía convencional. • Nuevo marco legal, de apoyo y fomento de las ERNC. Obligación de distribuidoras eléctricas de alcanzar niveles de uso de ERNC durante los próximos años. • Instauración de nuevas normas y marco legal sobre generación de residuos sólidos. • Posibilidad de comercialización y obtención de ingresos mediante la venta de bonos de carbono. • Generación de organizaciones locales que apoyen el funcionamiento de la planta para su beneficio. • Crecimiento del mercado agrícola orgánico, que requiere proveedores para la utilización de biofertilizantes de procedencia natural. • Necesidad de diversificación de la matriz energética y generación de autonomía energética local. • Necesidad de electrificación de zonas rurales. • Contribución al desarrollo de conciencia ambiental • Existencia de programas de fomento y apoyo técnico y transferencia tecnológica por parte de países desarrollados.

DEBILIDADES	<ul style="list-style-type: none"> • Falta de experiencia local en el manejo de biodigestores o desarrollo de experiencias piloto exitosas. • Estacionalidad y variabilidad en producción de sustratos. • Altos costos de inversión asociados. • Falta de decisión en la implementación de sistemas de ERNC. • Altos costos de inversión para transmisión eléctrica. • Condiciones climáticas poco favorables, que encarecen los costos de inversión y operación (por utilización de sistemas de calefacción interna). • Necesidad de disponibilidad constante de sustratos. Necesidad de generación centralizada de sustratos o grandes generadores.
AMENAZAS	<ul style="list-style-type: none"> • Necesidad de subvenciones y fomento a los proyectos de ERNC para lograr viabilidad de los proyectos • Competición directa con los sistemas de generación eléctrica convencionales, sin considerar las particularidades de los sistemas ERNC • Preferencia por implementación de megaproyectos eléctricos • Dificultades logísticas para comercializar Bioabono

2.4 Mercado y Competencia:

2.4.1 Biogás y producción eléctrica

Durante los últimos 20 años la demanda de energía eléctrica ha aumentado en un promedio de 6,7% anual, basándose la oferta fundamentalmente en el uso de combustibles fósiles e hidroelectricidad.

En el mercado eléctrico chileno, participan actualmente 28 empresas generadoras, y al igual que en la mayoría de los sistemas a nivel internacional, existe un alto grado de concentración. En el año 2006, tres empresas y sus filiales poseían el 89 % de la potencia instalada de servicio público en el Sistema Interconectado Central (SIC), mientras que otras 12 producían el 10 % restante.

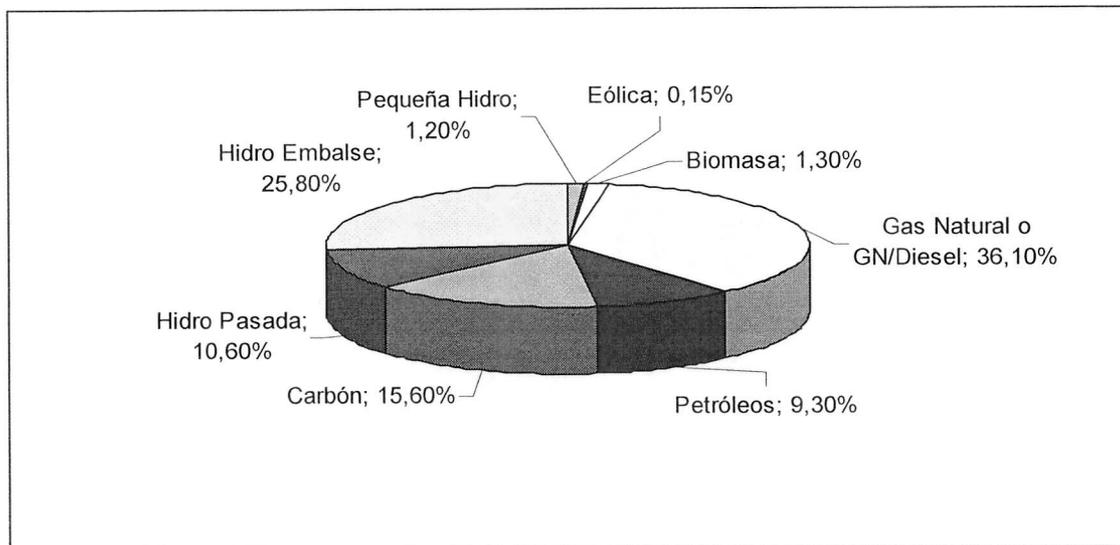
La oferta de energía en Chile se basa principalmente en centrales consideradas de tipo convencional, es decir, que emplean tecnologías que ya constituyen un estándar en el país y que normalmente corresponden a soluciones técnicas y comercialmente maduras. Estas corresponden a centrales termoeléctricas a carbón, ciclo combinado, motores diesel, turbinas a gas/petróleo e hidroeléctricas de gran tamaño. La siguiente

figura presenta la capacidad instalada en el país por sistema eléctrico durante el año 2008 (en MW).

Fuente	SIC	SING	Magallanes	Aysén	Total
Hidráulica > 20 MW	4.781	0	0	0	4.781
Comb. Fósiles	4.292	3.589	99	28	8.007
Total Convencional	9.073	3.589	0	28	12.788
Hidráulica < 20 MW	129	13	0	21	162
Biomasa	166	0	0	0	166
Eólica	18	0	0	2	20
Total ERNC	313	13	0	23	349
Total Nacional	9.386	3.602	99	50	13.137
ERNC %	3,3%	0,4%	0	45%	2,7%

(Fuente: CNE, 2008.)

La distribución de la generación según tipo de energía, gráficamente:



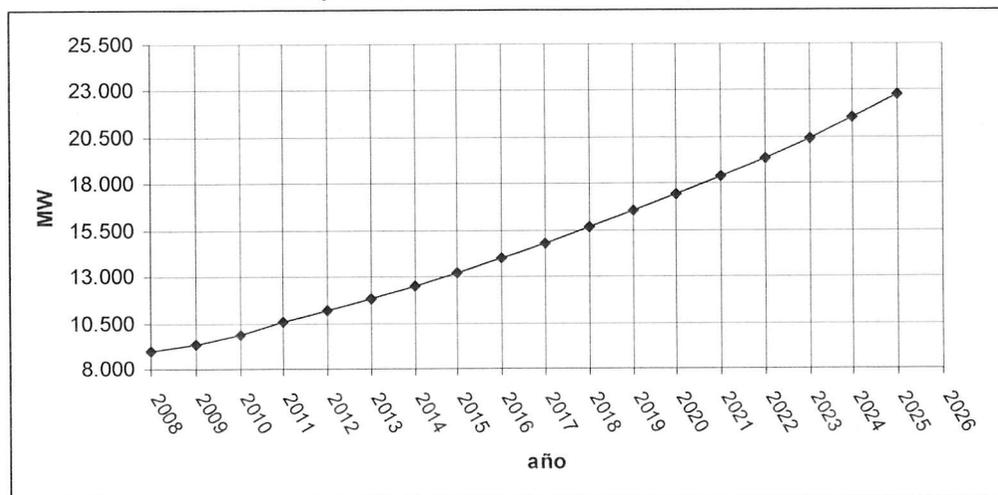
(Fuente: CNE, 2008.)

Aquí se puede apreciar que la participación de las energías proveniente de centrales renovables no convencionales fue de un 2,7 %, del cual la mayor parte corresponde a pequeñas hidráulicas y biomasa, con un 46 y 47 % aproximadamente.

Tomando como referencia las estimaciones de crecimiento para el SIC, se presume que para el año 2025 la potencia eléctrica instalada alcanzaría casi 23.000 MW (con un

factor de carga de 0,53), esto considerando las proyecciones del SIC hasta el año 2018 y posteriormente un crecimiento del 5, 5% anual hasta el año 2025. De este modo, la generación basada en ERNC debería alcanzar como mínimo el 10% de la generación (Ley ERNC) proyectada a ese año, lo que equivaldría a unos 10.500 GWh anuales. El siguiente gráfico representa la proyección de la demanda de potencia media en el SIC 2008-2025 y a continuación los valores de la proyección en la demanda de energía en el SIC para el mismo periodo.

Ilustración 1 Proyección de la demanda media de potencia en el SIC



(Fuente: UdeCh-UTFSM, 2008)

Proyección de la demanda eléctrica en el SIC:

Año	GWh
2008	41.464
2009	43.274
2010	45.542
2011	48.958
2012	51.922
2013	54.874
2014	57.946
2015	61.195
2016	64.952
2017	68.661
2018	72.556
2019	76.557
2020	80.768
2021	85.210
2022	89.897
2023	94.841
2024	100.057
2025	105.560

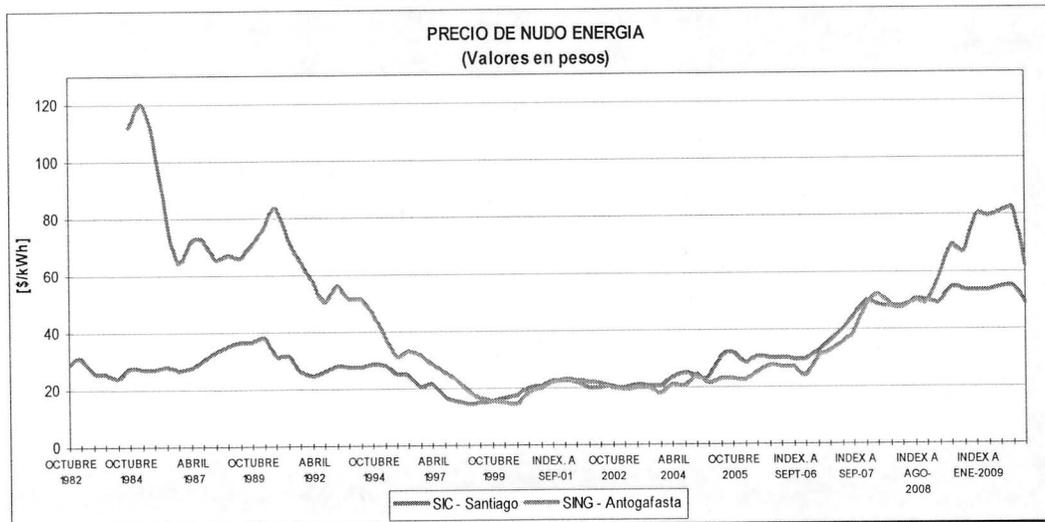
(Fuente: UdeCh-UTFSM, 2008)

De este modo se aprecia que el mercado para el acceso de la generación eléctrica a partir de ERNC se encuentra en pleno crecimiento, con una oferta aún incompleta y que no debería presentar problemas para el acceso de Fuentes eléctricas a partir de Biogás, logrando absorber los proyectos de este tipo.

En cuanto a los precios de comercialización de la energía, estos deberán competir con la oferta de los generadores convencionales, y el precio nudo de suministro a la red troncal.

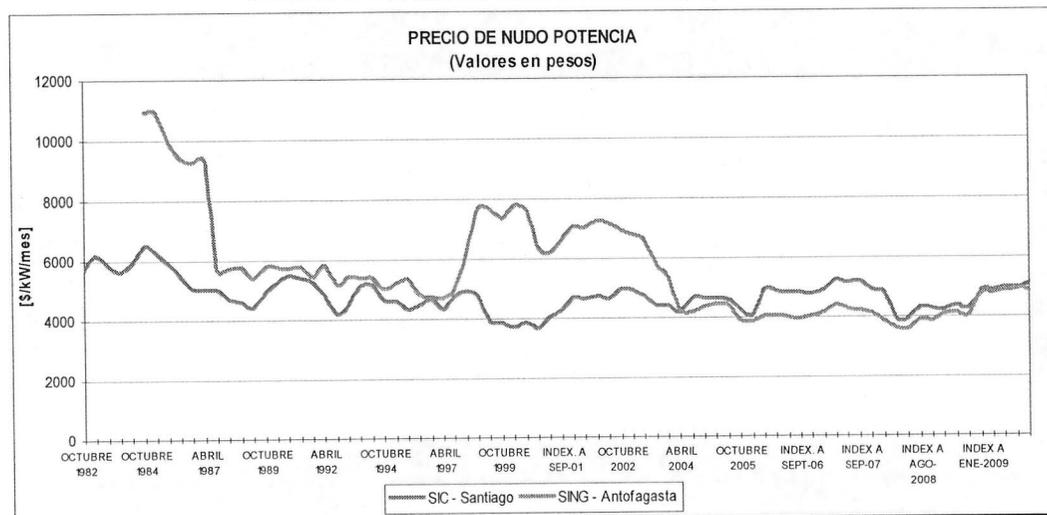
A continuación se presenta la evolución en los precios de energía (precio nudo energía y potencia) desde el año 1982 en adelante:

Ilustración 2 Precio de nudo de Energía, \$/KWh



(Fuente CNE, 2009)

Ilustración 3 Precio de nudo de Potencia, \$/KW/mes



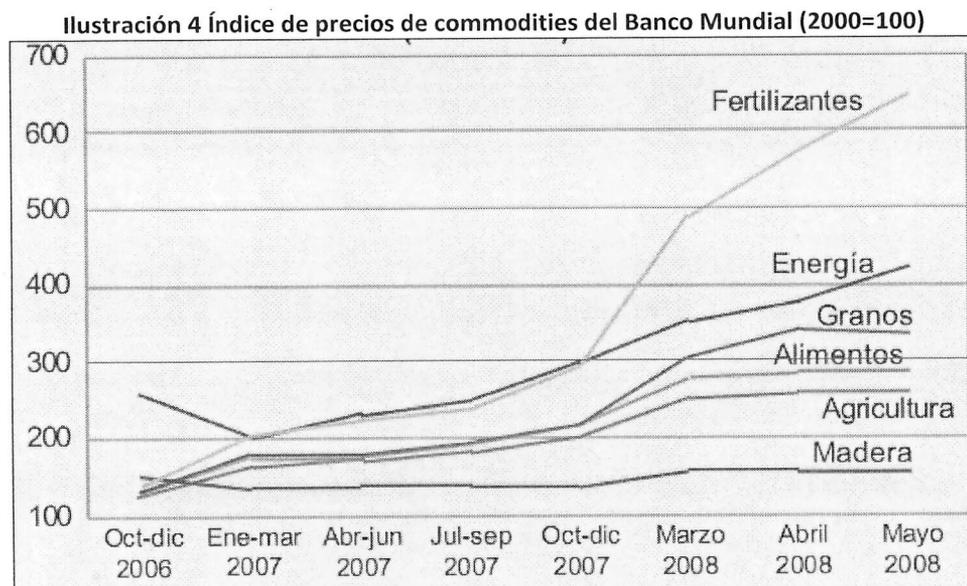
(Fuente CNE, 2009)

Para efectos de los análisis económicos, se trabaja con 2 valores en el precio de la energía. En el caso de venta de energía a nivel de generadoras, se estimó un precio de 60 \$/KWh, mientras que el monto como consumidores finales sería de 85 \$/KWh

2.4.2 Biofertilizantes (Bioabono, Biol, Biosol)

Como se ha mencionado anteriormente la producción de bioabono, biol o biosol para su comercialización implica la implementación de algunos procesos extras con el fin de alcanzar una buena calidad en los productos y puedan ser competitivos frente a otros fertilizantes o enmiendas orgánicas. Si bien para la agricultura intensiva convencional es poco probable el reemplazo de los fertilizantes químicos tradicionales, el alza sostenida que estos han sufrido durante los últimos años ofrece buenas posibilidades para productos que complementen (y por tanto disminuyan) su utilización como el bioabono y sus derivados.

El siguiente gráfico muestra el comportamiento de los precios de fertilizantes en el mercado mundial comparado frente a otros commodities:



Un estudio realizado por ODEPA el año 2008 (ODEPA, 2008), indica que la mayor parte del consumo nacional de fertilizantes proviene de productos importados por su menor costo frente a la producción nacional. El total de importaciones alcanzaba a comienzos

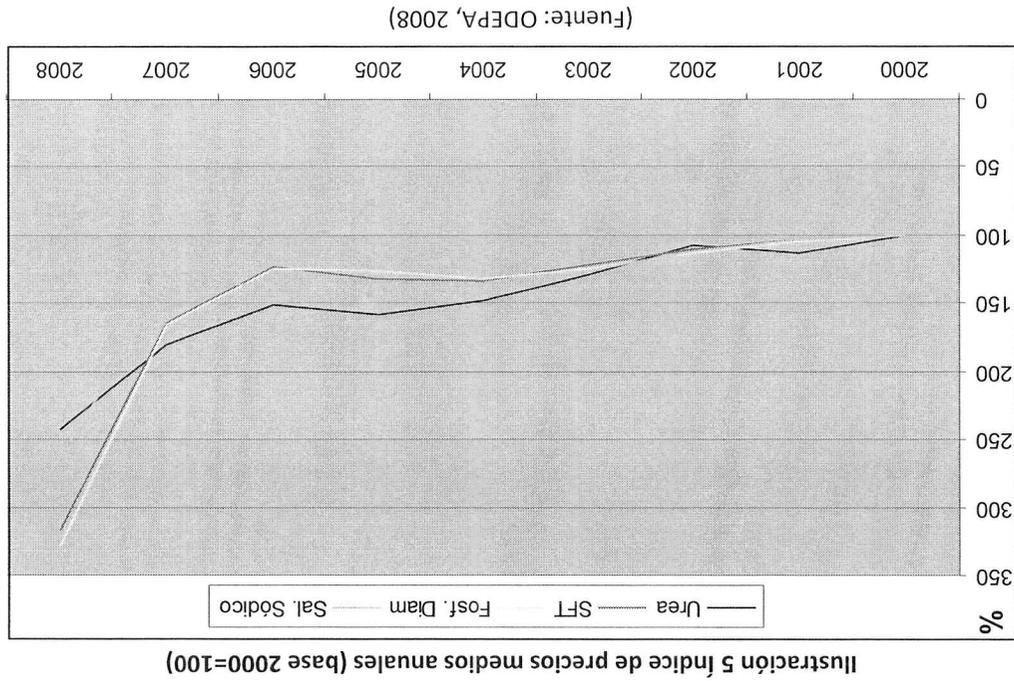
de la década los 140 millones de dólares anuales, pasando a 409 millones durante el 2007 y a 319 millones solo durante el primer semestre del 2008. Las alzas en los montos de importación responden tanto al alza en el precio de los productos, como a una mayor utilización de estos por parte de los agricultores nacionales. Los principales abonos importados corresponden a urea (45%), superfosfato triple (15%), fosfato monoamónico (11%) y fosfato diamónico (9%), concentrándose más del 95 % de las importaciones en 4 empresas a cargo de su distribución y comercialización.

Precios medios anuales de algunos fertilizantes, \$/kg

(Fuente: ODEPA, 2008)

Año	Urea	SFT	Fosf. Diam	Sal. Sódico
2000	156	163	189	148
2001	176	167	198	153
2002	168	180	213	165
2003	202	199	235	186
2004	230	217	250	217
2005	247	215	239	216
2006	236	201	235	200
2007	282	268	313	204
2008 (Enero-Junio)	378	515	621	390

La evolución porcentual en los precios de fertilizantes durante la última década, tomando como referencia el año 2000, puede apreciarse a continuación:



Este comportamiento de precios responde fundamentalmente al comportamiento internacional de este mercado, donde los precios del petróleo e hidrocarburos (utilizados como materias primas) impulsan al alza los precios de los fertilizantes, no vislumbrándose cambios en el comportamiento a corto plazo, pues además la demanda por estos productos sigue en aumento.

La intensidad en el uso de fertilizantes entre otras cosas depende de la disponibilidad de tierras, el tamaño de la propiedad agrícola y la preparación de los agricultores, tipo de cultivos, productividad esperada, precios de fertilizantes y precio de los productos. En Chile se considera que existe una proporción importante de cultivos intensivos en el uso de fertilizantes, pues la tierra agrícola es escasa en relación a la superficie total y se requiere obtener buenos rendimientos para hacer viable la actividad. La siguiente tabla presenta la relación entre el uso de fertilizantes y la superficie cultivada para varios países, donde puede apreciarse el alto consumo existente en Chile:

Pais	Superficie de Tierra, miles Ha	Tierras cultivadas, miles Ha	Consumo fertilizantes, miles ton	Relación 2/1
(1)	(2)			
China	932.742	137.124	39.605	0,29
USA	915.896	176.018	19.298	0,11
India	297.319	160.555	16.123	0,10
Brasil	845.942	5.764	7.682	0,13
Argentina	273.669	27.800	740	0,03
Perú	128.000	3.700	274	0,07
Italia	29.411	8.479	1.433	0,17
Hungría	9.211	4.602	501	0,11
Chile	74.880	1.979	455	0,23

(Fuente: ODEPA, 2008)

Los datos anteriores, demuestran las necesidades por parte de los productores locales del uso de productos que puedan mejorar los rendimientos de sus terrenos, destinando grandes recursos al uso de fertilizantes tradicionales. Las fuertes alzas en los precios sufridos por estos materiales abre las puertas para la búsqueda de alternativas que puedan mantener los rendimientos logrados y disminuir los costos de producción. Otro factor importante lo constituye los incentivos entregados a nivel gubernamental a través del Programa para la recuperación de suelos degradados, cuyo monto superó el año 2008 los \$25.000 millones.

De este modo, impulsar el uso de bioabonos puede constituir una importante fuente de ingresos, aunque debe reconocerse la dificultad para competir ante los fertilizantes químicos. Por tal motivo, se apunta a la utilización de bioabonos como un complemento en los cultivos, a fin de reducir el uso de otros fertilizantes, ofreciéndose a bajos costos, a fin de lograr una penetración en el mercado. Por otra parte, el segmento de la agricultura orgánica si bien constituye una fracción aún marginal de la producción nacional, ha experimentado un gran crecimiento en el último tiempo, con muy buenas expectativas para su futuro, sobretudo en el ámbito de las exportaciones.

Debido a que en general, la producción de bioabonos en la Planta de Biogás no se realiza (en una primera etapa) de forma específica, su comercialización deberá realizarse a granel, ofreciendo grandes cantidades a productores locales.

Materiales como el compost y humus de lombriz, presentan precios de venta a granel que pueden superar los \$100.000 por tonelada dependiendo de su calidad, aunque en general su valor típico está entre \$20.000 a \$30.000 por tonelada. Por otra parte es importante destacar que estos mismos productos en el comercio detallista tienen un precio que puede ir de los \$100 a los \$500 por kilogramo e incluso precios superiores, lo que da cuenta del nivel de beneficios que se podría obtener al desarrollar la producción de bioabono de una manera más especializada.

Considerando las dificultades para comercializar el producto en un periodo inicial de captación de mercado, su precio debería ser lo suficientemente bajo para atraer potenciales clientes. Para fines estimativos se considerará un margen de venta de bioabono de \$2.000 por tonelada, considerando los gastos en transporte y otros para su comercialización.

2.5 Comercialización y distribución:

Energía eléctrica:

En cuanto al sector de Generación, para las generadoras que produzcan menos de 9 MW y dependiendo del tipo de conexión que se realice: al sistema de distribución en media tensión ($0,4 \text{ kV} < V \leq 23 \text{ kV}$); o al sistema de transmisión en alta tensión ($23 \text{ kV} < V \leq 500 \text{ kV}$), se clasificarán las instalaciones generadoras como Pequeño Medio de Generación Distribuido o Pequeño Medio de Generación (PMGD/PMG) respectivamente.

Para el caso de una planta de biogás, del tamaño propuesto, su participación en el mercado eléctrico será como PMGD, ya que por lo general no se utilizará transmisión en alta tensión. Bajo estas circunstancias la empresa distribuidora se encuentra obligada a permitir la conexión a sus líneas por parte de la empresa generadora.

Un PMGD cuenta con 3 opciones básicas de participación para la comercialización de la energía (fuera de mercado, mercado spot y mercado de contratos), además de alternativas originadas a partir de la combinación de estas.

Las alternativas de comercialización son (CNE-GTZ, 2009: "Las Energías Renovables No Convencionales en el mercado eléctrico chileno"):

- **Alternativa 1: Venta de energía y potencia en el mercado spot.** Bajo esta opción el generador participa en un mercado cerrado solo para generadores, donde sus inyecciones de energía se valoran a costo marginal, mientras que su potencia será valorada a precio de nudo de potencia. Según valorización efectuada por el Centro de Despacho Económico de Carga (CDEC). Los PMGD además pueden optar por un régimen tarifario estabilizado para evitar las variaciones en la tarificación a costo marginal.

- **Alternativa 2: Combinación entre mercado spot y contrato con un cliente libre.** En este caso la participación del generador no solo está compuesta por sus ventas al mercado spot, sino que también tiene un contrato vigente con un cliente libre. La participación y tarificación en el mercado spot es similar al caso

anterior, mientras que con el cliente libre se establecerá mediante contrato un acuerdo entre las partes. Si el generador en algún momento no cuenta con capacidad de suministro para el cliente libre, de todas formas este será suministrado por otros generadores, dando lugar a transferencias en el mercado spot entre los generadores.

- **Alternativa 3: Combinación entre mercado spot y mercado de contratos con clientes regulados.** Similar al caso anterior, a diferencia que en este caso se establece un contrato con una empresa distribuidora como representante de clientes regulados. Los contratos se establecen por métodos de licitaciones y subastas donde los generadores presentan las ofertas para el suministro de energía de diferentes bloques propuestos por las distribuidoras, asignándose la mejor oferta.

- **Alternativa 4: Contrato directo con empresa de generación.** Bajo esta modalidad, se puede suscribir un contrato con una empresa de generación que participe del mercado mayorista, para que esta incorpore la producción en su oferta de comercialización. Los precios de venta y las características de la producción se fijan en forma bilateral entre ambas partes.

- **Alternativa 5: Fuera de mercado mayorista (contrato directo con empresa distribuidora).** UN PMGD puede operar en redes de media tensión en sistemas de distribución. Bajo esta modalidad, es la empresa distribuidora quien se hace responsable de la calidad de suministro y de servicio del sistema. Los precios de venta de energía y de potencia son pactados en forma bilateral entre ambas partes.

En general, bajo cualquiera de estas modalidades deberá establecerse el contrato con el cliente al cual se suministrará la energía, los aspectos más importantes del contrato son:

- Objeto de abastecimiento
- Partidas del contrato

- Deberes del contratante/deberes de desempeño/prestaciones de servicio
- obligatorios; cambios de las condiciones del contrato/de los servicios
- Deberes del cliente
- Determinación de precios actuales y futuros
- Liquidación y cuenta final
- Responsabilidad y garantía
- Plazos
- Despido/rescisión regular y extraordinaria
- Propiedad de las plantas de producción
- Seguimiento jurídico y traspaso del contrato a terceros

Bioabono

Las plantas propuestas en este estudio no consideraran una producción especializada de Bioabonos para su comercialización, ya que exige el desarrollo de una serie de nuevos elementos y logística para su producción y comercialización. Aún así no se debe perder de vista que la vida útil de las plantas otorgan un periodo suficiente como para el desarrollo progresivo de estos elementos, debido a que pueden significar una importante fuente de ingresos.

La primera opción de aprovechamiento del Bioabono radica en la propia absorción de su producción por el predio donde se encuentre la instalación. A medida que se aprecien los resultados en su uso y se gane experiencia, podrán ir sorteándose etapas para llegar al establecimiento de un negocio a partir de la venta del producto. A modo referencial, se propone a continuación una serie de etapas a seguir con el fin de valorizar la producción de bioabono. Obviamente su desarrollo estará sujeto a cada caso en particular y no necesariamente se recorrerán todos los pasos:

1º etapa (Año 1-2): Aplicación propia, reemplazo de fertilizantes y enmiendas, y ventas marginales o entrega gratuita de los excedentes, a posibles clientes futuros o productores que puedan resultar estratégicos para la promoción en el uso del producto. Resultados: Mejoramiento de terreno. Posibles mejoras en cosechas. Obtención de experiencia

planes de ventas o traspasos de áreas productivas.

productos obtenidos y destinarlos donde sean requeridos de acuerdo a los cumplimientos en materias legales y medio ambientales, agregar valor a los planta en su ámbito productivo y administrativo-financiero, responsabilidad y de conseguirlo), se encarga de abastecimiento de materias primas, dirigir la es la propia empresa la cual tiene suficiente capital propio (o puede ser capaz Es el modelo de empresa más simple entre las existentes, ya que en este caso

1.- Empresa propia.

empresa a seguir, de los cuales podemos mencionar los siguientes.

deberes legales y medioambientales que cumplir, se debe optar por un modelo de de producción, estimaciones de costos, alternativas de financiamiento, normas y Una vez determinados los montos iniciales a invertir, las proyecciones y necesidades mismos.

diferencian de un tipo a otra, aún cuando los objetivos para su creación sean los Existen diferentes modelos de realización de empresa, y características que las

2.6 Forma de empresa:

plan de acción, para su éxito.

las etapas anteriores. Requerirá nuevas inversiones y el desarrollo de un nuevo valorización. Se produce Biol y Biosol. Dependerá de la experiencia reunida durante Biofertilizantes a través de productos específicos, de mayor calidad y mejor

4° etapa (expansión de negocio): consistiría en el desarrollo en la producción de mejoramiento de precios e ingresos.

3° etapa: Consolidación de mercado, obtención de producto de calidad y ingresos por ventas, establecimiento de mercado.

2° etapa (transición y obtención de mercado): Mantener y optimizar aplicación propia, mejorando la calidad del abono. Mejorar o comenzar comercialización a granel con productores locales. Resultados: ahorros en insumos, generación de

2.- Modelo de dirección de la Planta.

No hay funciones en las tareas relativas a dirigir el funcionamiento de la planta (empresa), pero si existen responsabilidades sobre ella. Un tercero dirige en su nombre, y es el encargado en todas las áreas de funcionamientos, tales como, producción, administración, finanzas, ámbito legal y medio ambiental, y funcionamiento en general de planta, por lo que debe priorizar y gestionar también el correcto funcionamiento operativo (materias primas, reparaciones, productos, optimizaciones).

3.- Modelo de Traspaso de la Planta.

Se arrienda la planta (empresa) a un tercero, el cual es el encargado de dirigir la empresa bajo su propia estructura y responsabilidad. En la mayoría de los casos se suscriben determinados contratos, de tal forma que queden estipuladas algunas materias relativas a abastecimiento de materias primas, usos de terrenos, responsabilidad ambiental, distribución de utilidades, entre otros. El modelo los libera de responsabilidad sobre la planta, y al mismo tiempo pueden asegurarse utilidades.

4.- Modelo de Cooperación.

Aquí interviene un tercero, que pueden ser bancos o inversionistas externos, los cuales se ven involucrados en algún porcentaje del financiamiento. Este modelo crea una sociedad de inversiones, la cual a su vez es la dueña de la planta y encargada de dirigirla. Normalmente existe un contrato de prestación de servicios para la dirección de la planta, el cual entrega las cláusulas necesarias con respecto a temas de materias primas, uso de terreno y otros. En caso de arrojar utilidades, participan de acuerdo a la cuota de capital propio aportado.

5.- Modelo de Inversionista.

No existe una participación financiera propia; en este caso son los bancos u otros inversionistas los que asumen completamente el financiamiento. Los inversionistas externos invierten directamente en la planta, y por ende son sus

dueños, ellos dirigen en todos los aspectos la planta y toman decisiones para el funcionamiento general. Existen en este caso también contratos de prestación de servicios, de abastecimientos, arriendo terreno. En caso de existir utilidades, se puede participar de ellas por un contrato de participación en los remanentes.

La decisión final dependerá de cada caso en particular, evaluándose la capacidad de inversión propia, el nivel de riesgo a asumir, etc.

2.7 Financieros:

De forma referencial se presentan los resultados financieros para una planta Modelo 1, es decir, un solo fermentador operando a plena capacidad, con una producción eléctrica de 190 KW y térmica de 214 KW. Solo se presenta este análisis, ya que se ha estimado que es el modelo más representativo para la situación de la mayoría de los predios analizados. El análisis del resto de las plantas y casos, se puede obtener del Informe Estudio Económico.

Debido a las dificultades iniciales que representaría la comercialización de Bioabonos, no se consideraran ingresos por este ítem, por lo tanto, en caso de darse esta venta solo mejoraría los resultados ofrecidos en el análisis. Además se considera el aprovechamiento por medio de autoconsumo de parte de la energía térmica recuperada por cogeneración y la disponibilidad para la venta de 100 KWth.

Para la planta propuesta, los costos totales de inversión serían:

	€	447.000	Costos de Inversión Total
\$		335.250.000	

La siguiente tabla presenta una estimación de los costos de operación y mantenimiento que presentaría anualmente la planta:

Con estos valores, los resultados finales para la planta bajo un régimen de venta a la red de la totalidad de la energía eléctrica producida son:

Planta 1 190 kWel	
INVERSIÓN	335.250.000
INGRESOS (AHORRO) E. ELECTRICA	91.200.000
INGRESO (AHORRO) E. TERMICA	32.000.000
COSTO O & M	28.448.750
DEPRECIACION	30.525.000
MARGEN OPERATIVO	64.226.250

Por otra parte, si la energía eléctrica producida se valoriza mediante autoconsumo de 100 % de la energía producida, los resultados obtenidos son:

Planta 1 190 kWel	
INVERSIÓN	335.250.000
INGRESOS (AHORRO) E. ELECTRICA	129.200.000
INGRESO (AHORRO) E. TERMICA	32.000.000
COSTO O & M	28.448.750
DEPRECIACION	30.525.000
MARGEN OPERATIVO	102.226.250

Con estos resultados, la proyección del flujo de caja para la Planta 1, analizados bajo la forma de financiamiento crédito CORFO 85% + Capital propio 15%, arroja los siguientes resultados:

- PLANTA 1, 190 Kw. E Eléctrica: Venta 100% ; E Térmica: Venta 47%

VAN: \$35.327.933 TIR: 17,63% PRI: 4,67 (años)

- PLANTA 1, 190 Kw. E Eléctrica: Autoconsumo 100%; E Térmica: Venta 47%

VAN: \$193.619.956 TIR: 28,62% PRI: 3,27 (años)

- PLANTA 1, 190 Kw. E Eléctrica: Venta 50%, Autoconsumo 50% - E Térmica: Venta 47%

VAN: \$114.473.974 TIR: 23,25% PRI: 3,85 (años)

2.8 Evaluación de los riesgos y escenarios alternativos:

La implementación de las plantas basa su viabilidad fundamentalmente por la valorización de la energía eléctrica producida. Los riesgos principales provendrán principalmente de no obtener los ingresos o ahorros estimados a partir de la producción energética, ocasionados por:

- Baja eficiencia en la producción: por falta de sustratos, problemas de operación, etc. que reduzcan la producción de Biogás.
- Problemas de distribución eléctrica y venta de energía; acceso a la red, bajos precios, altos niveles de competencia, etc.

En cualquier caso el riesgo se puede evaluar a partir de un análisis variando los volúmenes de ingresos por valorización energética y su repercusión sobre la rentabilidad del proyecto.

De acuerdo a variaciones de precio de energía eléctrica, se pueden proyectar diversos escenarios de proyección de ingresos y márgenes operativos en el caso de venta a la red.

PROYECCIÓN RESULTADOS

Planta 1 190 kWeI		48	54	60	66	72
PRECIO ENERGÍA ELÉCTRICA (\$/kWh)						
INVERSIÓN	335.250.000	335.250.000	335.250.000	335.250.000	335.250.000	335.250.000
INGRESOS (AHORRO) E. ELÉCTRICA	72.960.000	82.080.000	91.200.000	100.320.000	109.440.000	
INGRESO (AHORRO) E. TÉRMICA	32.000.000	32.000.000	32.000.000	32.000.000	32.000.000	
COSTO O & M	28.448.750	28.448.750	28.448.750	28.448.750	28.448.750	
DEPRECIACION	30.525.000	30.525.000	30.525.000	30.525.000	30.525.000	
MARGEN OPERATIVO	45.986.250	55.106.250	64.226.250	73.346.250	82.466.250	

Los escenarios alternativos estarán dados fundamentalmente respecto a la capacidad de desarrollar la comercialización y aprovechamiento del Biobono. Dependiendo de cada productor, es interesante demostrar mediante análisis financiero, el potencial de desarrollar este negocio, ya sea en sus niveles básicos (autoconsumo y reemplazo de

fertilizantes), medios (venta a granel como bioabono), y superior (producción de productos con mayor valor (Biol y Biosol, tanto en venta mayorista, como al detalle).

Obviamente cada nivel de desarrollo, requiere distintos grados de especialización del negocio e inversión para llevarlo a cabo.

Incluyendo la posibilidad de aprovechamiento del bioabono y su comercialización, podemos apreciar, de forma referencial, el efecto que produce en los ingresos que genera el proyecto, tomando como base un valor base \$2.000 ton de fertilizante, tenemos que su impacto en el margen operativo anual es el siguiente:

Planta 1 190 kWel	Sin Bioabono	
Planta 1 190 kWel	Aprv. 50% Bioabono	
INVERSIÓN	335.250.000	350.250.000
INGRESOS (AHORRO) E. ELECTRICA	91.200.000	91.200.000
INGRESO (AHORRO) E. TERMICA	32.000.000	32.000.000
INGRESOS BIOABONO	-	9.360.000
COSTO O & M	28.448.750	28.673.750
DEPRECIACION	30.525.000	32.025.000
MARGEN OPERATIVO	64.226.250	71.861.250

Cabe señalar, que el análisis se basa en un escenario muy marginal para la valoración, y es de esperar que los resultados mejoren mucho más a medida que se especialice la producción y uso del bioabono, aumentando su valor.

3. Impacto de la incorporación de los nuevos productos en la estructura productiva. A partir de la implementación de una Planta de Digestión anaerobia podemos clasificar los impactos generados de la siguiente manera:

Impactos Económicos:

- Valorización energética de residuos agropecuarios

- Valorización de subproductos agropecuarios para fertilización
- Reducción de costos por tratamiento de residuos
- Desarrollo de nuevos mercados a través del establecimiento de modalidades innovadoras de búsqueda y consolidación de mercados para los productos locales
- Identificación y remoción de barreras de mercado para implementación de proyectos
- Facilitar el diseño, implementación e instalación de programas para atraer inversión privada a la provincia
- Creación de una empresa energética
- Fortalecer actividades productivas y comerciales del sector agropecuario
- Fortalecimiento de asociatividad y encadenamiento productivo mediante el establecimiento de instancias de coordinación y complementariedad para la consolidación de las empresas agropecuarias
- Diversificación energética e independencia a nivel local
- Oportunidades de industrialización y valor agregado a productos

Impactos Sociales:

- Desarrollo rural, reforzándose al incrementar la competitividad del sector y elevar la calidad de vida en las áreas rurales
- La valorización de residuos de biomasa agropecuaria con fines energéticos, no solo aporta beneficios en esta área, sino que su transformación se convierte en beneficiosa y necesaria para el entorno
- Es un sistema idóneo de tratamiento de residuos, con la consiguiente mejora del ambiente rural, urbano e industrial, pudiendo ser además, un modo eficiente de equilibrar determinados excedentes agrícolas
- En el sector agropecuario la opción del uso de biofertilizantes generado por esta tecnología permite responder a una demanda de la sociedad, de ser más respetuosos con el medio ambiente, y en particular se promueve la reducción de posibles fuentes de contaminación, contribuyendo a elevar los niveles de

vida e ingresos en las regiones menos favorecidas, periféricas, aisladas o en declive, al dar prioridad al desarrollo local a través del uso de recursos endógenos, siendo un punto focal en una economía regional al permitir la explotación de los recursos renovables locales contribuyendo a mejorar la situación económica al agregar valor a la cadena productiva por la capitalización de las materias primas en la región; contribuyendo a la creación de empleo calificado, mejorando el nivel de vida al disminuir el impacto sobre el medio ambiente; disminuir la vulnerabilidad y dependencia de las importaciones; y generar importantes ingresos en la economía regional debido al efecto de catalizador para otras iniciativas a nivel local y mejorar la imagen de un territorio sobre todo en el caso de los proyectos con una importante dimensión pedagógica, dado el nivel de movilización y animación local que conlleva una iniciativa en esta área.

Impactos Ambientales:

- La obtención de biogás por medio de la digestión anaerobia representa un tratamiento alternativo a aquellos más convencionales, con un enorme potencial no solo para evitar daños ecológicos, sino para además obtener energía de forma eficiente.
- Reducción de emisión de contaminantes a la atmósfera (CH₄ y CO₂)
- Reducción de emisión de contaminantes a napas de agua (N,P,K) y atmósfera.
- Fortalecer producción limpia y no degradadora.
- Explotación racional de recursos naturales a través del desarrollo de actividades productivas sostenibles ambientalmente.
- Reducción de la cantidad de lodos residuales procedentes de la digestión anaeróbica utilizándolo como biofertilizante, además de la optimización del proceso por codigestión con otros residuos orgánicos.
- Apoyar iniciativas orientadas a incorporar la producción de biogás como mecanismo de gestión de residuos.

BIBLIOGRAFIA

- Aparcana, S., 2005. "Aprovechamiento energético de los residuos de un matadero frigorífico industrial y la biomasa regional de Arequipa, Perú, bajo la aplicación de la gestión de flujos de materiales y energía". Trier, Alemania.
- Carrillo Leonor, 2003. "Microbiología Agrícola".
- Eder, B. Schulz, H. 2006. "Biogas Praxis".
- German ProfEC GMBH, 2008. "Estudio sobre el valor fertilizante de los productos del proceso "Fermentación Anaeróbica" para producción de biogás".
- ODEPA, 2008. "Evolución reciente de los precios de fertilizantes", Santiago, Chile.
- ODEPA, Ingeniería Alemana S.A., 2009. "Estudio para la evaluación socioeconómica y ambiental de tres prototipos de biodigestores en predios de pequeños productores lecheros", Santiago, Chile.
- Sura, S., 2008. "Uso de abonos orgánicos en producción de hortalizas. Curso de agroecología". Universidad nacional agraria La Molina, Lima, Perú.
- Udech-UTFSM, 2008. Aporte Potencial de: ERNC y Eficiencia Energética a la Matriz Eléctrica, 2008-2025".
- Wheatley A, editor 1990. "Anaerobic Digestion: A Waste Treatment Technology". Elsevier Science Publishers.
- YADOS GmbH, Catalogo 2009.