



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”

Seminario

“POTENCIALIDAD DE RESIDUOS AGROPECUARIOS PARA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS, COGENERACIÓN Y PRODUCCIÓN DE BIOFERTILIZANTES”.

Sala de Reuniones edificio de oficinas TODOAGRO S.A.,
Sector Cayamapu Km. 25, Salida Norte, Valdivia, Región de los Ríos.



Índice

1. Resumen del estudio.....	4
1.1 Objetivo general.....	5
1.2 Objetivos específicos.....	5
2 Catastro de recursos.....	7
3 Información Biogás.....	13
3.1 Obtención del biogás.....	13
3.2 Componentes principales de una planta generadora.....	15
3.2.1 El Fermentador.....	15
3.2.2 Sistema de Alimentación.....	17
3.2.3 Calefacción.....	18
3.2.4 Homogenización.....	18
3.2.5 Acumulador de gas.....	20
3.2.6 Utilización del Biogás.....	21
3.2.7 Generación de electricidad.....	22
4 Primeros Resultados del Estudio.....	23
4.1 Resultados Estudio Técnico (preliminar).....	24
4.2 Resultados Estudio Económico (preliminar).....	25
4.3 Planta de Biogás - Económicamente factible.....	27

Índice de Tablas

Tabla 1 Tipos de Muestras Tomadas.....	12
Tabla 2 Resumen del Cálculo del Porcentaje de Biomasa Obtenido para los Diez Predios Seleccionados.....	12
Tabla 3 Composición del Biogás.....	13
Tabla 4 Ejemplo: Cantidad, tipo y distribución de biomasa.....	24
Tabla 5 Potencial de Cogeneración.....	24
Tabla 6 Modelo 1.....	25
Tabla 7 Modelo 1 (Autoconsumo).....	26
Tabla 8 Modelo 2.....	27
Tabla 9 Modelo 2 (Autoconsumo).....	27

Índice de Tablas

Ilustración 1 Uso del suelo en la Región de Los Ríos.....	7
Ilustración 2 Distribución del Área Plantada o Sembrada.....	8
Ilustración 3 Distribución del ganado según Especie.....	8
Ilustración 4: Ubicación de los productores asociados al proyecto en la Provincia de Valdivia.....	10
Ilustración 5 Resultados de Contacto.....	10
Ilustración 6 Ubicación de los Predios Donde se Realizaron las Muestras.....	10
Ilustración 7 Modelo de Planta de Biogas.....	14
Ilustración 8 Biodigestión Anaeróbica.....	15
Ilustración 9 EL Fermentador, Esquemas.....	16
Ilustración 10 Esquemas de Sistemas de alimentación.....	17
Ilustración 11 Diferentes Sistemas de Homogenización.....	19
Ilustración 12 Vista Externa de un Biodigestor con Acumulador Interno (En Funcionamiento).....	21
Ilustración 13 Generador de Calor de Bloque.....	23
Ilustración 14 Modelo 1 Gas – 50t/d.....	25

Viernes 27 de Febrero de 2009

ISBN XXX – XXXX - X

Registro de Propiedad Intelectual

Inscripción Nº XXX.XXX

BIOAGFO Energía Limitada.

Fundación para la Innovación Agraria

La presente publicación reúne y sistematiza un conjunto de información técnica presentada en el seminario “POTENCIALIDAD DE RESIDUOS AGROPECUARIOS PARA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS, COGENERACIÓN Y PRODUCCIÓN DE BIOFERTILIZANTES”, (Valdivia, Región de los Ríos, Viernes 27 de Febrero de 2009), desarrollada por BIOAGFO Energía Ltda., incluyendo los resultados preliminares obtenidos en el 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” , que cuenta con el apoyo financiero de la Fundación para la Innovación Agraria (FIA).

Santiago de Chile

Marzo de 2009

Objetivo del documento:

- Presentar el estudio, sociabilizar y difundir los resultados de la primera etapa (catastro de recursos, análisis técnico) del estudio a los agentes asociados a Todoagro S.A., así como al público en general.

1. Resumen del estudio.

El estudio tiene como objetivo sistematizar información técnica y económica, con el fin de implementar un programa de inversiones para la producción de biogás en unidades centralizadas a partir de la valorización energética de residuos agropecuarios, basado en un modelo organizacional y asociativo que permita un abastecimiento descentralizado, incorporando tres nuevos productos en la cadena de valor: energía eléctrica, energía térmica y biofertilizantes.

El estudio se realiza en la Provincia de Valdivia con participación de los empresarios agrícolas asociados a TODOAGRO S.A. la cual reúne desde 1996 a 85 empresarios de esta provincia, promoviendo el desarrollo empresarial, mejoras continuas de eficiencia y prácticas comerciales, con el fin de mejorar la competitividad y rentabilidad de las empresas agrícolas a través del trabajo asociativo.

Su implementación permitirá reducir la presión de las emisiones de contaminantes a la atmósfera (CH_4 y CO_2) y a recursos de agua originadas por los agrosistemas, y aportar al desarrollo agrícola como una nueva fuente de ingresos por la venta de biofertilizantes, ahorros e ingresos por venta de energía térmica y eléctrica.

Los principales resultados esperados son:

- a. Desarrollar la cadena de valor de los residuos agropecuarios, hasta su valorización en energía eléctrica y térmica;
- b. Desarrollo de paquetes tecnológicos

- c. Desarrollar un modelo de negocio
- d. Desarrollar una guía para la implementación de unidades centralizadas de producción de biogás factible de replicar en otros agrosistemas.
- e. Desarrollar un programa de innovación a presentar a FIA, que incorpore los resultados alcanzados en este estudio.

El estudio tendrá una duración de 14 meses.

1.1 Objetivo general.

Recopilar y generar antecedentes y parámetro técnicos, económicos y ambientales, que permitan llevar a cabo una valorización energética de los residuos biomásicos generados en las actividades agropecuarias de las empresas asociadas a TODOAGRO S.A. en la Provincia de Valdivia, XIV Región de Los Ríos, e integrarlas a un sistema de gestión de abastecimiento sostenible para la generación centralizada de biogás para la producción de energía térmica y/o eléctrica (cogeneración), y como subproducto biofertilizantes, que permitan obtener un incremento en la productividad, competitividad y una disminución del impacto ambiental asociado.

1.2 Objetivos específicos.

1. Evaluar para los agricultores asociados a TODOAGRO S.A., las fuentes actuales y alternativas de residuos agropecuarios, utilizada, no utilizada y subutilizada, para producción de biogás y biofertilizantes.
2. Identificar las actuales estrategias de manejo de residuos para los agricultores asociados a TODOAGRO S.A., e identificar los elementos, conceptos y técnicas que limitan la productividad y su utilización alternativa.

3. Generar un conjunto de recomendaciones y prácticas de manejo de residuos sustentable, que considere la optimización de los rendimientos económicos, la protección de los recursos naturales y la población asociada.
4. Obtener el **diseño** de plantas centralizadas con biodigestores productores de biogás capaces de operar con los residuos agropecuarios generados por las empresas asociadas a TODOAGRO S.A. y de generar rentabilidad económica, beneficio social y ambiental.
5. Proponer paquetes tecnológicos que optimicen la conversión centralizada de residuos agropecuarios en biogás con fines de cogeneración, integrado a un sistema de abastecimiento sostenible.
6. Generar un modelo de negocio y gestión de producción de biogás con los actores involucrados, e identificar un nicho de mercado para la venta de biofertilizantes.

2 Catastro de recursos.

Dando cumplimiento al objetivo específico No. uno de este estudio, se desarrollaron una serie de etapas en pro de poder acopiar la información exacta que permita determinar el verdadero potencial de generación de biogás a partir de biomasa en la región bajo estudio.

La primera etapa consiste en la determinación de los distintos tipos de biomasa agropecuaria disponibles para la producción de biogás y estimación de las cantidades producidas, la que permitirá establecer, una previsión de su comportamiento ante las diferentes etapas involucradas en su uso como fuente de energía, y por sobretodo evaluar las fuentes actuales y alternativas de residuos agropecuarios aptos, producción y potencialidad; residuos agropecuarios no utilizados o subutilizados; residuos potenciales, disponibles, utilizables y recolectables técnica y económicamente para producción de biogás y biofertilizantes.

El desarrollo de este catastro se estructuró sobre la base de información disponible del VII censo nacional agropecuario y forestal (INE 2007).

Los resultados obtenidos del análisis de esta información se sintetizan en las siguientes graficas:

Ilustración 1 Uso del suelo en la Región de Los Ríos

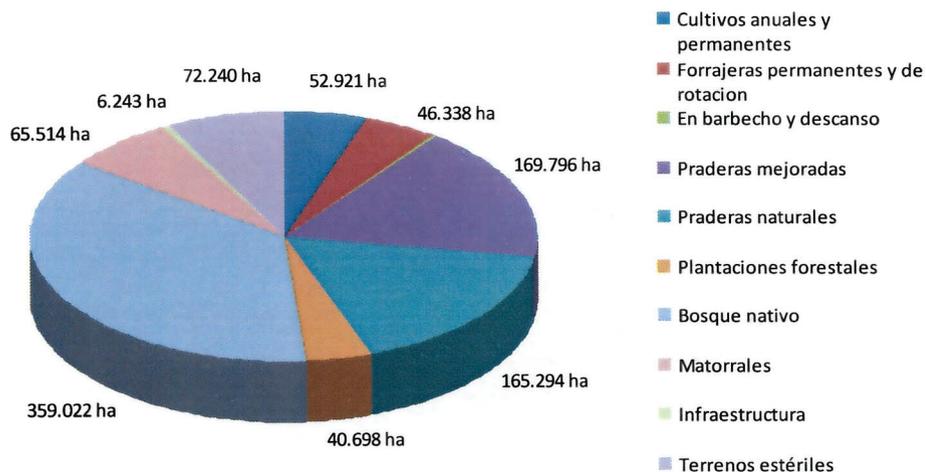


Ilustración 2 Distribución del Área Plantada o Sembrada

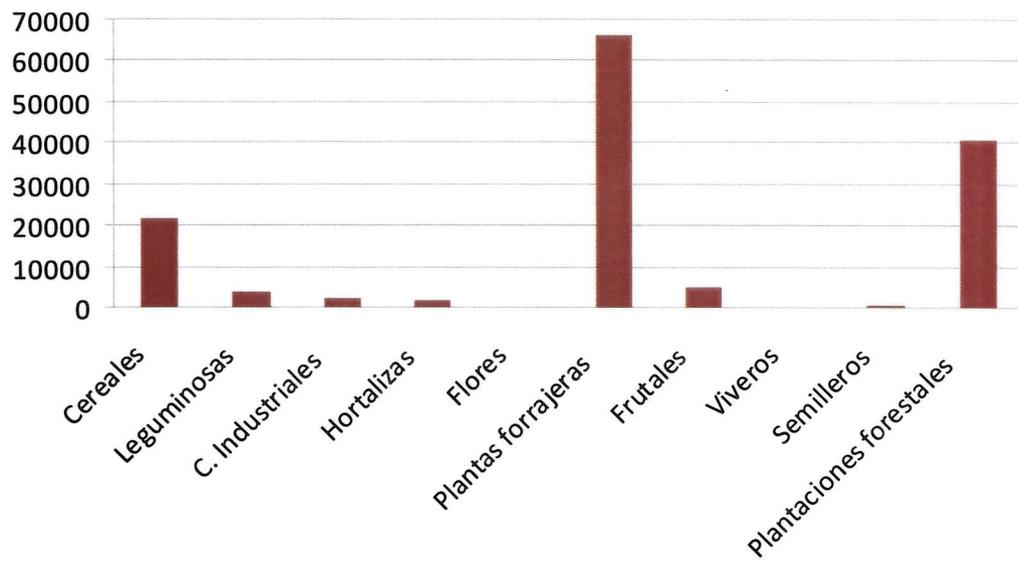
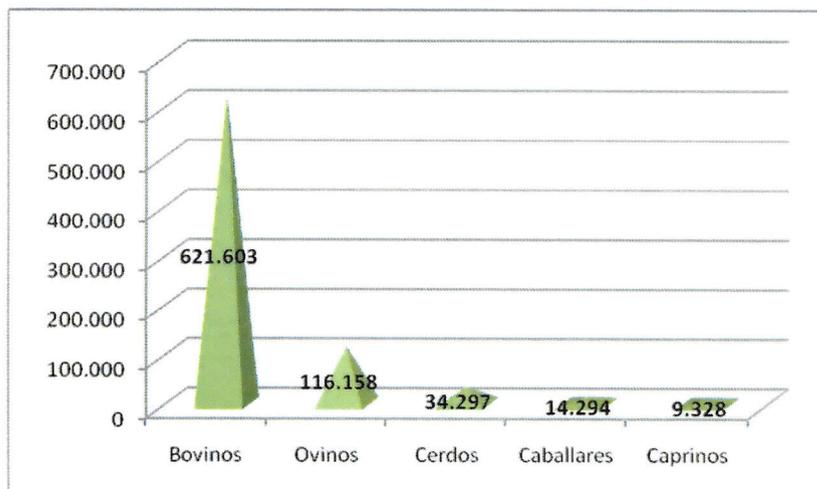


Ilustración 3 Distribución del ganado según Especie



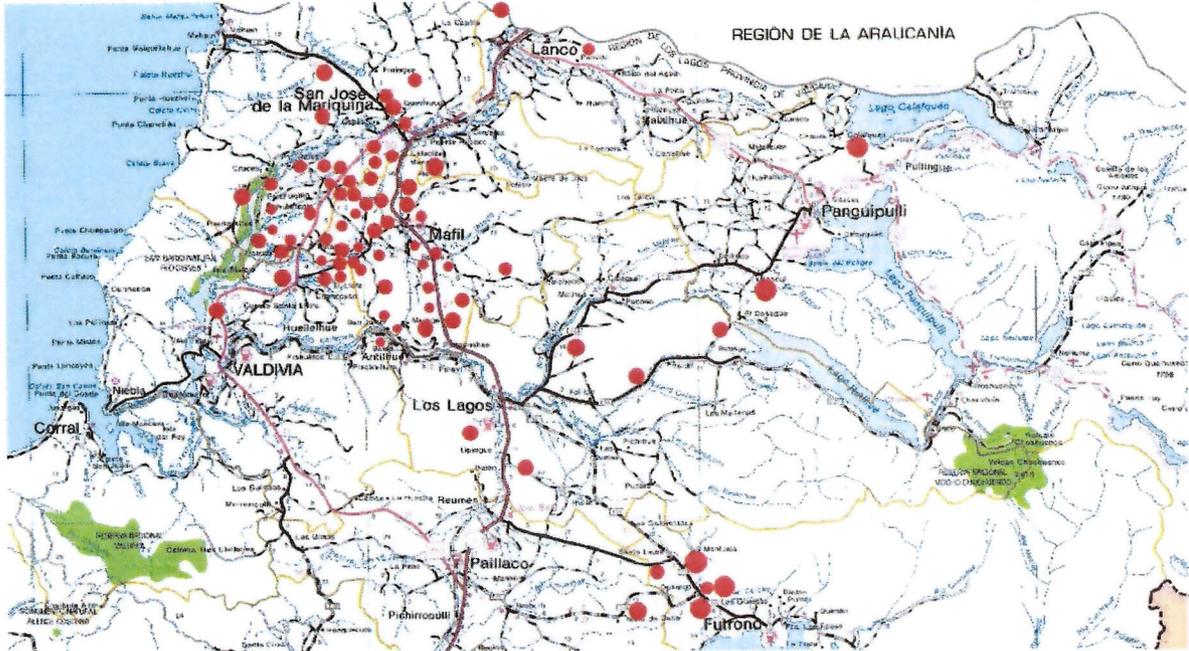
Con esta información se pudo establecer, una previsión del comportamiento de las fuentes actuales de residuos agropecuarios aptos para producción de biogás y biofertilizantes.

Sin embargo para poder establecer las cantidades exactas de biomasa y su real potencialidad, se desarrolló una campaña de encuestas y visitas a terreno a los 85 empresarios agrícolas y ganaderos que integran la sociedad TODOAGRO S.A., mediante la siguiente metodología:

- Primera etapa: Destinada a informar y difundir el estudio, estableciendo el primer contacto con los asociados.
- Segunda Etapa: Consideró un segundo contacto, vía telefónica, con los asociados, para la verificación del recibo de la información enviada, y la aplicación de un cuestionario.
- Tercera Etapa: Definición de predios preseleccionados para realizar visitas a terreno y realizar muestras de biomasa.

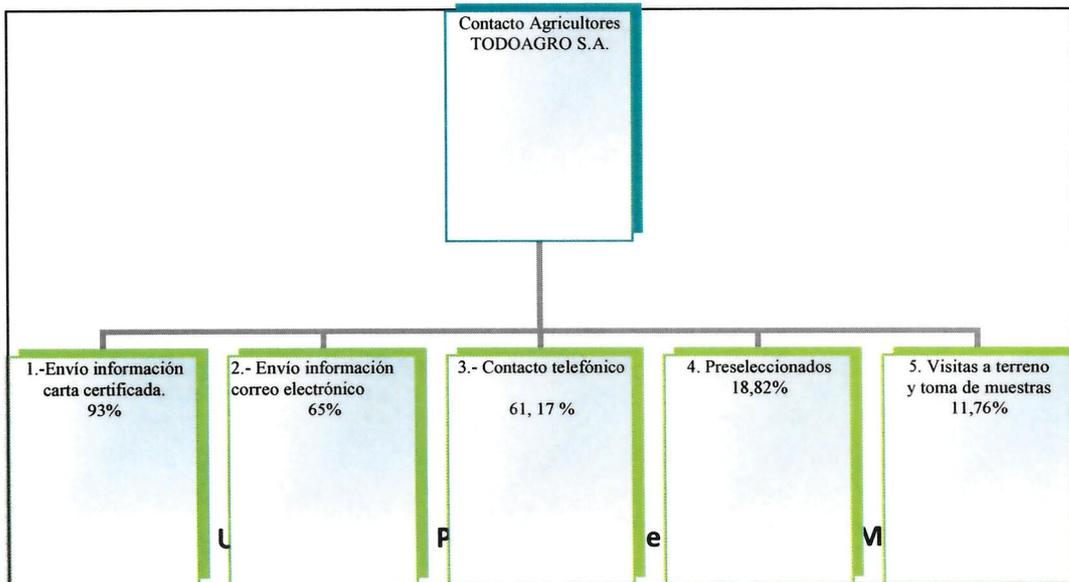
Previo a la ejecución de la primera y segunda etapas, se elaboró un mapa con la ubicación de los asociados:

Ilustración 4: Ubicación de los productores asociados al proyecto en la Provincia de Valdivia



Luego del cumplimiento de las dos primeras etapas, se detallan los motivos por los que algunos de los socios no pudieron ser encuestados, así mismo se determinaron los predios en los que se efectuó el muestreo.

Ilustración 5 Resultados de Contacto



Finalmente se obtuvo información puntual sobre las fuentes de desechos agrícolas con potencial de ser utilizados en la generación de biogás:

Tabla 1 Tipos de Muestras Tomadas

N°	Estiércol	Cama de paja	Ensilaje de pasto	Ensilaje Maíz	Restos de forraje
7	x		x	x	
17	x	x			
18	x				x
20	x	x			x
32	x	x			
41	x	x			x
45	x	x			
48	x	x			x
51	x		x		
59	x	x			x

Tabla 2 Resumen del Cálculo del Porcentaje de Biomasa Obtenido para los Diez Predios Seleccionados

Predio No.	Biomasa Disponible (toneladas)							
	25%		50%		75%		100%	
	t/m	t/a	t/m	t/a	t/m	t/a	t/m	t/a
7	201,6	2419,2	403,2	4838,4	604,8	7257,6	806,4	9676,8
17	144	1728	288	3456	432	5184	576	6912
18	336,4	4036,6	672,8	8073,2	1009,2	12109,8	1345,5	16146,4
20	259,2	3110,4	518,4	6220,8	777,6	9331,2	1036,8	12441,6
32	230,4	2764,8	460,8	5529,6	691,2	8294,4	921,6	11059,2
41	374,4	4492,8	748,8	8985,6	1123,2	13478,4	1497,6	17971,2
45	1036,8	12441,6	2073,6	24883,2	3110,4	37324,8	4147,2	49766,4
48	432	5184	864	10368	1296	15552	1728	20736
51	178,6	2142,7	357,1	4285,4	535,7	6428,2	714,2	8570,9
59	115,2	1382,4	230,4	2764,8	345,6	4147,2	460,8	5529,6
TOTAL	3308,6	39702,5	6617,1	79405	9925,7	119107,6	13234,1	158810,1

3 Información Biogás

El biogás, es una mezcla gaseosa que esta compuesta de metano (CH₄), dióxido de carbono (CO₂), oxígeno, nitrógeno y trazas de otros gases (incluido el sulfuro de hidrógeno). La proporción de estos gases depende tanto de la materia prima como del proceso de fabricación en sí.

Tabla 3 Composición del Biogás

Composición del Biogás	
Elemento	Volumen
Metano (CH ₄)	40%-70%
Dióxido de carbono (CO ₂)	30%-70%
Nitrógeno (N)	< 3%
Oxígeno (O)	< 2%
Sulfuro de hidrógeno (H ₂ S)	0-3%
Hidrógeno (H)	0-1%

2.1 Obtención del biogás

La producción se realiza en las plantas de biogás mediante la digestión anaerobia, pueden utilizarse diversos materiales orgánicos (**biomasa**), como por ejemplo:

- Residuos de cosecha: paja, rastrojo de maíz y otros cultivos, maloja de caña de azúcar, etc.
- Residuos de origen animal, desechos de establos (estiércol, orina, paja de camas, camas de gallinas ponedoras), desperdicios de mataderos (sangre, vísceras), desperdicios de pesca, restos de lana y cuero, etc.
- Residuos de origen humano: basura (orgánica), heces y orina.

- Residuos agroindustriales: salvado de arroz, desechos de tabaco y semillas, residuos del procesamiento de hortalizas y frutas, residuos de té y café, etc.
- Residuos forestales: ramas, hojas, cortezas, etc.
- Plantas acuáticas: algas marinas.

Ilustración 7 Modelo de Planta de Biogás

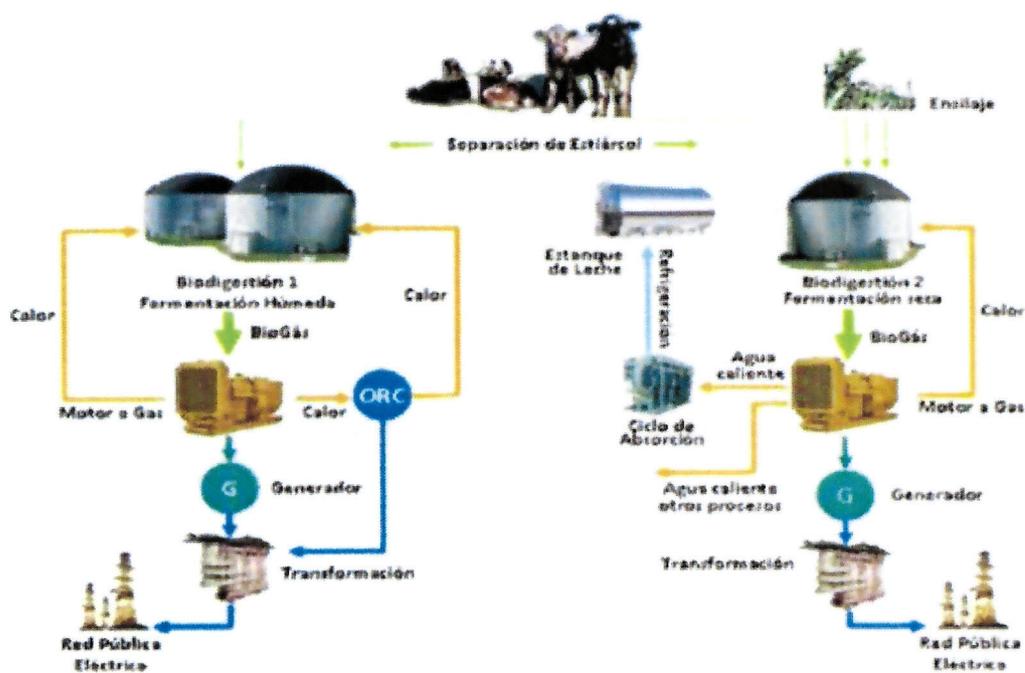
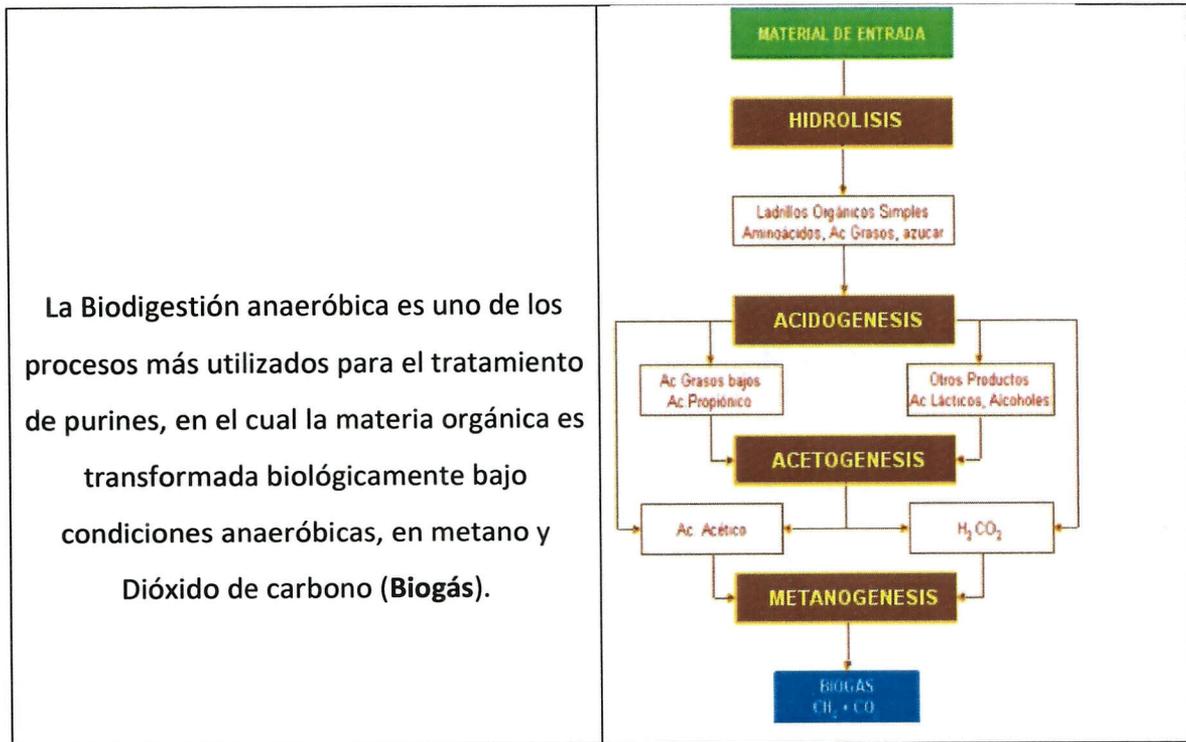


Ilustración 8 Biodigestión Anaeróbica



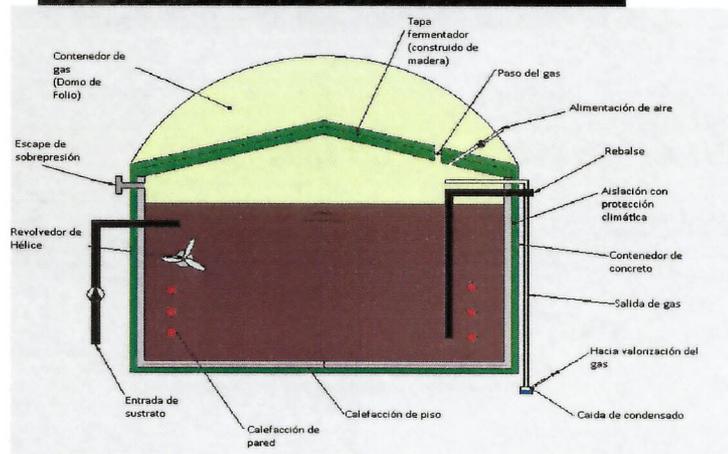
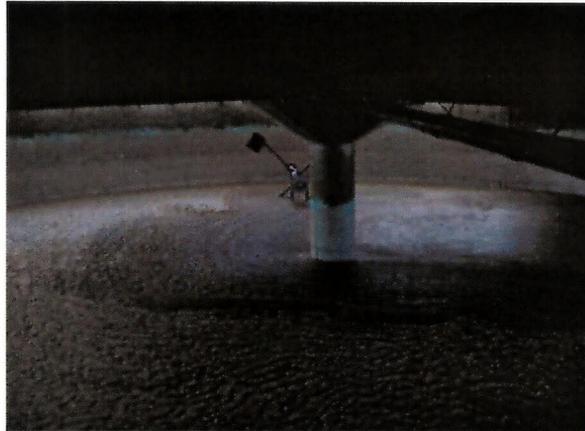
2.2 Componentes principales de una planta generadora.

2.2.1 El Fermentador.

- Es la parte esencial de cualquier planta de generación de biogás. En este cuatrillones de bacterias descomponen los elementos orgánicos de la sustancia de entrada (substrato), liberando así el biogás.
- Es posible construir y poner en marcha fermentadores con volúmenes de 4.000m³ o más.
- El fermentador funciona generalmente en un rango de temperatura de 30°C a 60°C. Estas temperaturas requieren de un buen sistema de calefacción.
- Los grupos de materiales del sustrato tienen periodos de descomposición distintas, por esto largos periodos de permanencia en el fermentador generan un efecto de

dilución del sustrato, mejorando las condiciones para el funcionamiento de los grupos de bacterias.

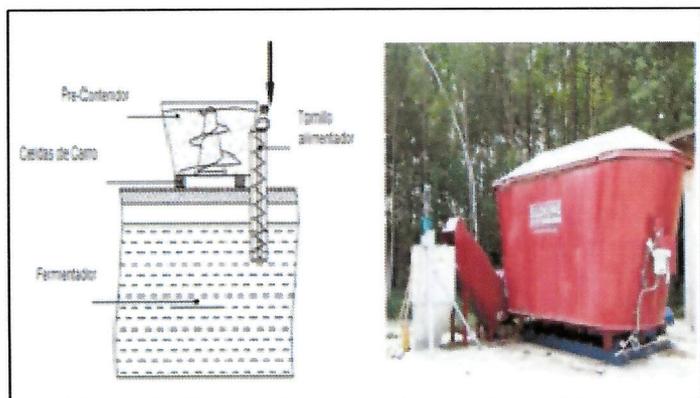
Ilustración 9 El Fermentador, Esquemas



2.2.2 Sistema de Alimentación.

Algunas técnicas de alimentación (pozo de descarga, tornillo alimentador con embudo) exigen del empresario una gran inversión de tiempo y dado que los intervalos de alimentación deben mantenerse tan cortos como sea posible; en las grandes plantas se prefieren sistemas que permiten mantener un determinado acopio y con ello se permite automatizar la alimentación.

Ilustración 10 Esquemas de Sistemas de alimentación



2.2.3 Calefacción.

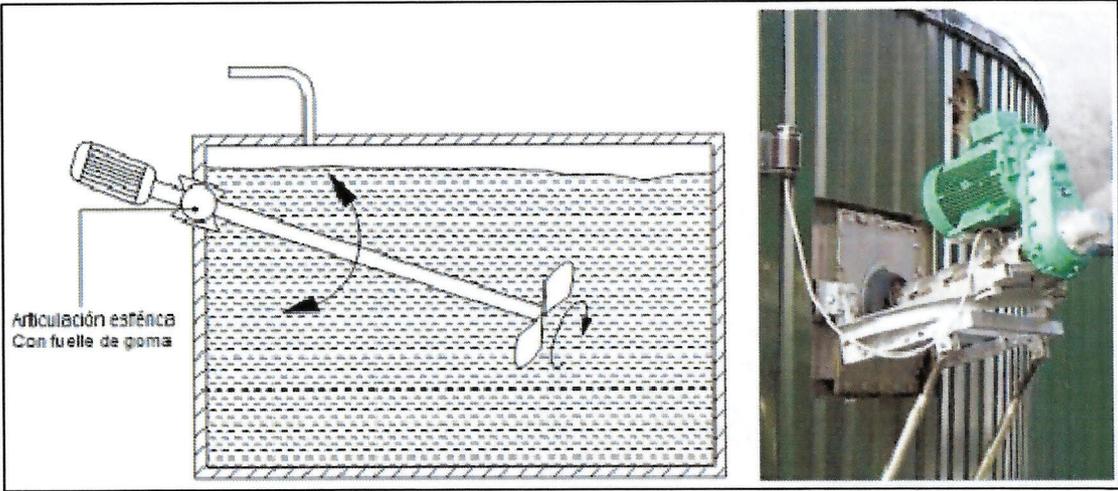
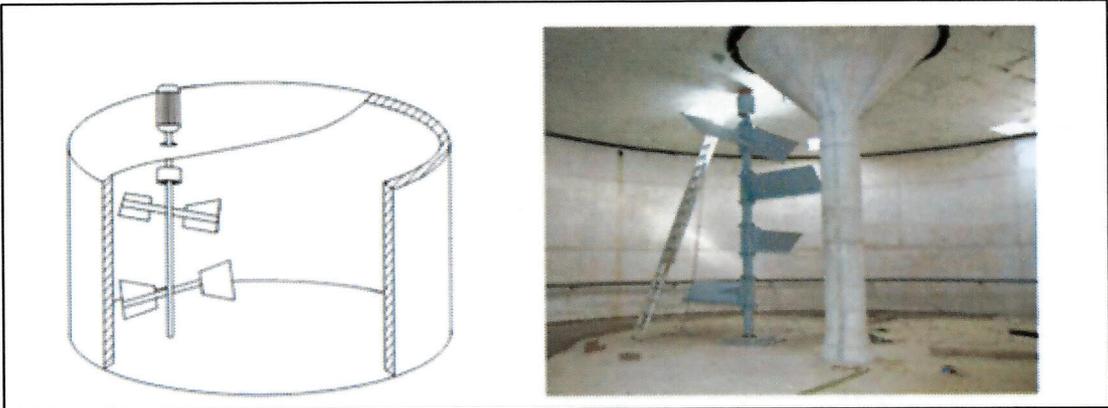
- Una condición para que exista un proceso de fermentación parejo es que el sustrato tenga una temperatura constante. El calor es entregado generalmente por el calentamiento del Fermentador.
- Para calentamiento externo (fuera del fermentador) el sustrato es bombeado hacia el agua caliente a través de un intercambiador de calor.
- En contenedores verticales se instala calefacción ya sea en la losa del piso o en las paredes. En las calefacciones de losa de piso, las capas sedimentarias llevan a un deterioro de la transferencia de calor, por esto deben ser revueltas o retiradas periódicamente.
- Los calefactores en revolvedores entregan una muy buena transferencia de calor en los fermentadores horizontales.

2.2.4 Homogenización.

Los fermentadores y los contenedores posteriores deben ser dotados de equipos revolvedores, para alimentar el material ingresado con la suficiente cantidad de bacterias y una distribución de temperatura pareja.

Una tecnología revolvedora efectiva evita la formación de capas flotantes y sedimentarias y crea un ambiente positivo para el intercambio de materia de las bacterias, dado que las ampollas de gas son expulsadas y se incorporan nutrientes frescos.

Ilustración 11 Diferentes Sistemas de Homogenización



2.2.5 Acumulador de gas.

- El acumulador de gas sirve como órgano tampón entre la formación del gas y su utilización.
- Mientras mejor sea la regulación entre estos dos componentes, se puede seleccionar un acumulador de gas más pequeño.
- Dependiendo de la escala de presión, es diferenciado en compactación baja, media o alta, donde, en estos momentos, el monopolio del caudal del biogás, lo tiene la primera variante.

En muchos casos se produce la acumulación de gas directamente en el correspondiente fermentador, por lo que no sería necesaria la instalación de un acumulador de gas adicional.

Ilustración 12 Vista Externa de un Biodigestor con Acumulador Interno (en funcionamiento)



2.2.6 Utilización del Biogás.

Por décadas la obtención de calor del biogás fue prácticamente el único camino posible para darle valor agregado al biogás, ahora en las plantas de conversión de energía se distinguen tres tipos de procesos:

Calefacción	Se produce como energía primaria vapor o agua caliente en la caldera
Potencia Térmica	En la caldera se origina como energía primaria vapor a alta presión, en la turbina es reducido y transformado en energía mecánica y luego transformado en energía eléctrica

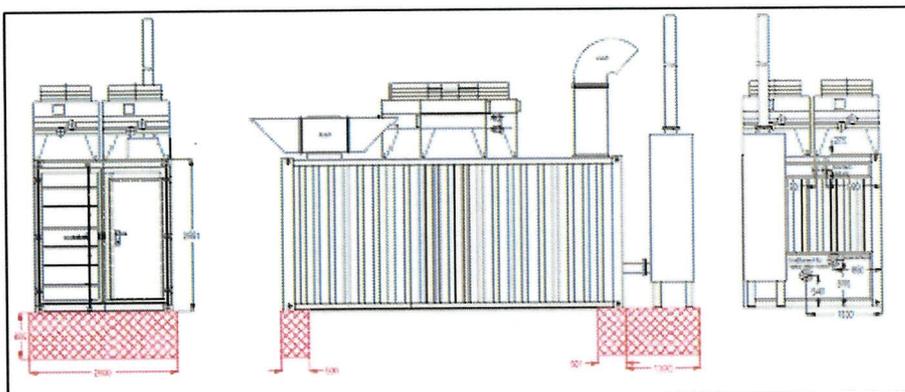
Potencia y Calefacción ó Cogeneración	<p>El vapor a alta presión no es llevado desde la turbina hasta la presión del condensador, sino que a una presión un poco más alta se desacopla de la turbina.</p> <p>La energía del combustible es transformada ya sea en energía con mayor valor (electricidad), como también con menor valor (calor).</p> <p>El grado de utilización de la energía está, al igual que en el proceso de calefacción en un 88%.</p>
--	---

2.2.7 Generación de electricidad.

Generalmente en esta relación se utiliza también el término Generador de Calor de Bloque (**BHKW**). En esta central de energía se ingresa el biogás en un motor de combustión y es modificado a formas de energía utilizables.

El motor de combustión pone en movimiento un generador conectado, el que sirve para la producción de electricidad. En el ámbito del acoplamiento Fuerza-Calor se puede lograr la mayor eficiencia en la transformación de energía del biogás. *El rendimiento general está en aproximadamente 85 a 90% de la energía reintegrada.*

Ilustración 13 Generador de Calor de Bloque



3 Primeros Resultados del Estudio.

En los meses de diciembre – enero BIOAGFO Ltda. realizó una campaña de difusión y encuestas a los 85 empresarios agrícolas y ganaderos que integran la sociedad para generar información y datos relevantes para la ejecución del estudio, además de realizar visitas a terreno a los asociados que estuvieron interesados en el estudio. Entre otros, se han averiguado los siguientes antecedentes:

1. Disposición personal del productor de involucrarse a un estudio de generación de biogás.
2. Número total de ganado.
3. Superficie del predio (ha).
4. Distancia al productor más cercano (en Km.) para después estimar posibilidades de cooperación.
5. Producción del predio para la producción de residuos (potencial individual (i); potencial cooperativo (c); potencial insuficiente (no))

3.1 Resultados Estudio Técnico (preliminar)

Tabla 4 Ejemplo: Cantidad, tipo y distribución de biomasa

N° Productor	45	TM/m en t	TM/a en t	oTM/m en t	oTM/a en t	Biogás m³/m	Biogás m³/a	Metano m³/a
Residuos sólidos ganadería	25%	77,8	946,1	62,2	756,9	21772,8	264902,4	145696,3
	50%	155,5	1892,2	124,4	1513,7	43545,6	529804,8	291392,6
	75%	233,3	2838,2	186,6	2270,6	65318,4	794707,2	437089,0
	100%	311,0	3784,3	248,8	3027,5	87091,2	1059609,6	582785,3
Residuos sólidos forraje y ensilaje	25%	19,4	236,5	17,1	208,1	10264,3	124882,6	77427,2
	50%	38,9	473,0	34,2	416,3	20528,6	249765,1	154854,4
	75%	58,3	709,6	51,3	624,4	30793,0	374647,7	232281,6
	100%	77,8	946,1	68,4	832,6	41057,3	499530,2	309708,7

Tabla 5 Potencial de Cogeneración

N° Productor	45	Metano m³/a	kW eléctricos	kW térmicos	kW Totales	kW Requerido
Residuos sólidos Ganadería	25%	145696,3	74,9	88,5	163,3	194,4
	50%	291392,6	149,7	176,9	326,6	388,8
	75%	437089,0	224,6	265,4	489,9	583,3
	100%	582785,3	299,4	353,8	653,2	777,7
Residuos sólidos forraje y ensilaje	25%	77427,2	39,8	47,0	86,8	103,3
	50%	154854,4	79,6	94,0	173,6	206,6
	75%	232281,6	119,3	141,0	260,4	310,0
	100%	309708,7	159,1	188,0	347,2	413,3

3.2 Resultados Estudio Económico (preliminar)

Ilustración 14 Modelo 1 Gas – 50t/d

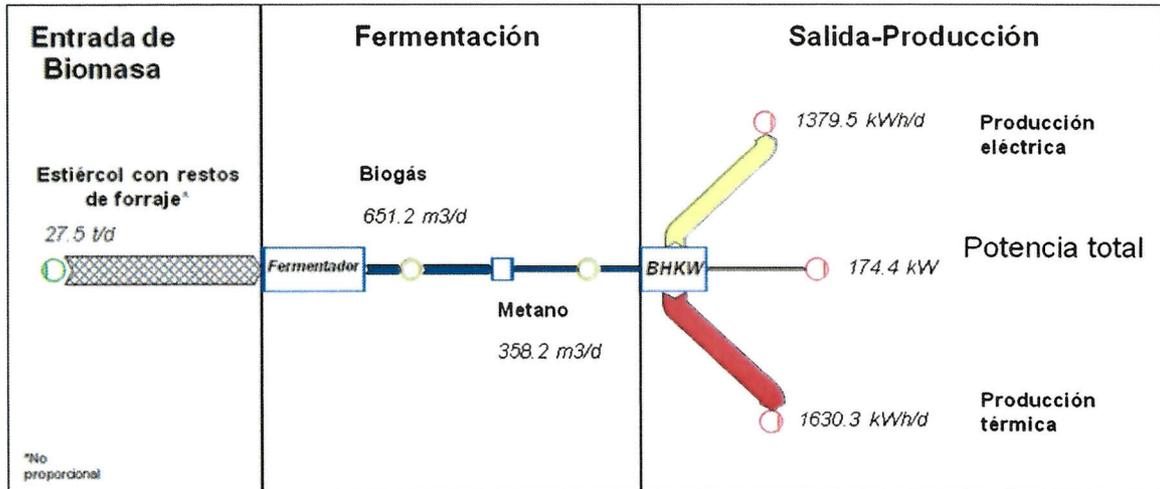


Tabla 6 Modelo 1

Biomasa Productor:	650 vacas / 75% recup. / 40m ³ /d estiércol, 2t/d residuos forraje, ensilaje
Capacidad Instalada:	190 KWel, 214 KWth, 7.500 horas
Precio Red:	92 US\$ /MWhel (54 \$ /KWhe)
Precio Autoconsumo:	140US\$ / MWhel (81 \$ /KWhe)
Precio Térmico:	30 US\$ / MWth (17 \$ /KWth)
Opción Financiamiento:	CORFO (85%), Capital Propio (15%)

Tabla 7 Modelo 1 (Autoconsumo)

	EUR	US \$	\$ Pesos Chilenos
Inversión total	844,725	1.051.334	613.190.559
Ingresos	177.888	227.697	132.803.984
Gastos de operación y mantenimiento	57.840	74.035	43.180.696
Gastos de depreciación	43.090	43.635	25.450.330
Margen bruto	85.958	110.027	64.172.957
Utilidad neta 1º año	35.558	45.553	26.568.662
Utilidad neta 15º año	71.345	91.322	53.263.555
VAN (interés 7%)	22.501	28.801	16.798.332

Ilustración 15 Modelo 2 Gas – 55t/d

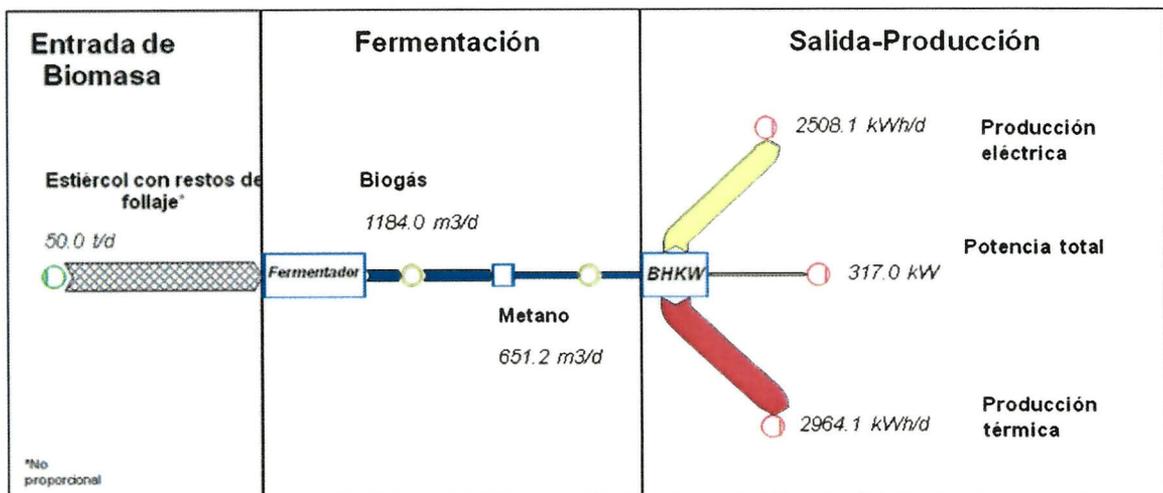


Tabla 8 Modelo 2

Biomasa Productor:	1200 vacas / 75% recup. / 80m3/d estiércol, 4t/d residuos forraje, ensilaje
Capacidad Instalada:	360 KWel, 420 KWth, 7.500 Horas
Precio Red:	92 US\$ /MWhel (54 \$ /KWhel)
Precio Autoconsumo:	140US\$ / MWhel (81 \$ /KWhel)
Precio Térmico:	30 US\$ / MWth (17 \$ /KWth)
Opción Financiamiento:	CORFO (85%), Capital Propio (15%)

Tabla 9 Modelo 2 (Autoconsumo)

	EUR	US \$	\$ Pesos Chilenos
Inversión total	1.520.745	1.946.553	1.135.327.297
Ingresos	337.055	431.430	251.631.548
Gastos de operación y mantenimiento	85.442	109.366	63.787.487
Gastos de depreciación	67.043	85.815	50.051.821
Margen bruto	184.570	236.249	137.792.240
Utilidad neta 1º año	88.820	113.689	66.309.155
Utilidad neta 15º año	153.193	196.087	114.367.559
VAN (interés 7%)	70.547	90.301	52.667.842

3.3 Planta de Biogás - Económicamente factible.

- Productores o Cooperadores con > 500 vacas
- Otros residuos disponibles (forraje, ensilaje)
- Precio Energía eléctrica red / autoconsumo > 120 US\$/MWh (70 \$ / KWh)