



Informe final

«Estudio para la evaluación socioeconómica y ambiental de tres prototipos de biodigestores en predios de pequeños productores lecheros»

Marzo 2009

Consultoría encargada por la Oficina de Estudios y Políticas Agrarias - ODEPA -, Los comentarios que se hacen en este estudio no representan necesariamente la opinión de ODEPA.

OFICINA DE ESTUDIOS Y POLITICAS AGRARIAS (ODEPA)

ESTUDIO PARA LA EVALUACION SOCIOECONOMICA Y AMBIENTAL DE TRES PROTOTIPOS DE BIODIGESTORES EN PREDIOS DE PEQUEÑOS PRODUCTORES LECHEROS

INFORME FINAL

Marzo, 2009

Preparado por:



Av. Antonio Varas Nº 2700 - Ñuñoa – Santiago – Chile
Fono: (+56) 2 \ 269.81.58 - Fax: (+56) 2 \ 269.81.60
e-mail: iasa@iasa.cl Web: www.iasa.cl

P 5030 (EMI C)

OFICINA DE ESTUDIOS Y POLITICAS AGRARIAS (ODEPA)

ESTUDIO PARA LA EVALUACION SOCIOECONOMICA Y AMBIENTAL DE TRES PROTOTIPOS DE BIODIGESTORES EN PREDIOS DE PEQUEÑOS PRODUCTORES LECHEROS

INFORME FINAL

TABLA VERSIONES						
Doc	Fecha	Autor	Firma	Aprobador	Firma	Descripción de cambios
EMI A	13-01-09	Silvana Ramelli Gerhard Schleenstein		Gerhard Schleenstein		Emisión para revisión por el cliente.
EMI B	25-02-09	Gerhard Schleenstein		Gerhard Schleenstein		Subsana observaciones del cliente enviadas el 16-02-2009
EMI C	25-03-09	Gerhard Schleenstein		Gerhard Schleenstein		Subsana observaciones del cliente enviadas el 20-03-2009 y 25-03-2009

OFICINA DE ESTUDIOS Y POLITICAS AGRARIAS (ODEPA)

ESTUDIO PARA LA EVALUACION SOCIOECONOMICA Y AMBIENTAL DE TRES PROTOTIPOS DE BIODIGESTORES EN PREDIOS DE PEQUEÑOS PRODUCTORES LECHEROS

INFORME FINAL

INDICE

RESUMEN EJECUTIVO

1	OBJETIVOS Y ANTECEDENTES DISPONIBLES	1
1.1	ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN	1
1.2	OBJETIVOS	2
2	CARACTERIZACIÓN DEL SECTOR	3
2.1	DEFINICIÓN DEL "PEQUEÑO PRODUCTOR"	3
2.2	DISTRIBUCIÓN REGIONAL, PROVINCIAL Y COMUNAL DE PEQUEÑOS PRODUCTORES DE LECHE ..	3
2.3	CANTIDAD DE ANIMALES POR REGIÓN, PROVINCIA Y COMUNA	5
2.4	VOLÚMENES DE PRODUCCIÓN REGIONAL Y PROVINCIAL	5
2.5	CARACTERIZACIÓN SOCIO-ECONÓMICA DEL SECTOR	6
2.6	EVOLUCIÓN HISTÓRICA Y PROYECCIÓN FUTURA DEL SECTOR	7
3	CONDICIONES CLIMÁTICAS.....	8
3.1	DESCRIPCIÓN CLIMATOLÓGICA REGIÓN DEL BIO BIO	8
3.2	DESCRIPCIÓN CLIMATOLÓGICA REGIÓN DE LA ARAUCANÍA	9
3.3	DESCRIPCIÓN CLIMATOLÓGICA REGIONES DE LOS RÍOS Y DE LOS LAGOS	10
3.4	IMPLICANCIAS Y CONCLUSIONES PARA EL PROYECTO.....	12
4	CUANTIFICACIÓN DE BIOMASA DISPONIBLE Y ESTIMACIÓN DE GENERACIÓN DE BIOGÁS	15
4.1	INTRODUCCIÓN	15
4.2	CARACTERIZACIÓN DE LA PRODUCCIÓN EN RELACIÓN CON LA GENERACIÓN DE RESIDUOS ..	15
4.3	CARACTERIZACIÓN DE LOS RESIDUOS GENERADOS	17
4.4	CUANTIFICACIÓN DE LA BIOMASA DISPONIBLE.....	18
4.5	ESTIMACIÓN DE LA GENERACIÓN DE BIOGÁS	19
5	IDENTIFICACIÓN DE ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO	22
5.1	TIPO DE TECNOLOGÍA.....	22
5.2	IDENTIFICACIÓN DE TECNOLOGÍAS DISPONIBLES	23
5.2.1	<i>Biodigestor de Domo Fijo (Tipo "Chino")</i>	<i>24</i>
5.2.2	<i>Biodigestor de Domo Flotante (Tipo "Indio").....</i>	<i>26</i>
5.2.3	<i>Biodigestor de Estructura Flexible</i>	<i>27</i>
5.2.4	<i>Digestor Flotante.....</i>	<i>28</i>
5.2.5	<i>Digestor con Tanque de Almacenamiento Tradicional y Cúpula de Polietileno</i>	<i>29</i>
5.2.6	<i>Digestor de Alta Velocidad o Flujo Inducido</i>	<i>30</i>
5.2.7	<i>Instalaciones Industriales</i>	<i>30</i>

5.3	TECNOLOGÍAS DISPONIBLES PARA EL APROVECHAMIENTO DEL BIOGÁS.....	34
5.3.1	<i>Cocinillas.....</i>	34
5.3.2	<i>Lámparas.....</i>	34
5.3.3	<i>Calefactores y Calentadores.....</i>	35
5.3.4	<i>Refrigeradores.....</i>	35
5.3.5	<i>Motores a Biogás.....</i>	36
5.3.6	<i>Equipos Combinados (Combined Heat and Power Systems, CHP).....</i>	36
5.4	EVALUACIÓN DE PAQUETES TECNOLÓGICOS PERTINENTES.....	38
5.5	EXIGENCIAS AL MANEJO DE PURINES CON BIODIGESTORES.....	41
5.5.1	<i>Ordenamiento Predial.....</i>	41
5.5.2	<i>Manejo de Purines en la Sala de Ordeña y Corrales.....</i>	41
5.5.3	<i>Instalación del Biodigestor.....</i>	42
5.5.4	<i>Aplicación del Efluente Tratado al Suelo.....</i>	42
6	DISEÑO DE BIODIGESTORES A NIVEL DE INGENIERÍA CONCEPTUAL.....	43
6.1	MEMORIA DESCRIPTIVA.....	43
6.1.1	<i>Tanque de Acopio.....</i>	44
6.1.2	<i>Alimentación y Descarga.....</i>	44
6.1.3	<i>Digestor.....</i>	45
6.1.4	<i>Almacenamiento de Biogás.....</i>	45
6.1.5	<i>Cañerías de Biogás, Válvulas y Accesorios.....</i>	46
6.1.6	<i>Remoción de Sulfuro de Hidrógeno.....</i>	46
6.1.7	<i>Purgador de Condensado.....</i>	47
6.2	MEMORIA DE CÁLCULO.....	47
6.3	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS.....	49
6.4	PLANOS.....	50
6.5	ESTIMACIÓN DEL CONSUMO DE LOS INSUMOS PRINCIPALES.....	50
6.6	RESULTADOS DEL DISEÑO.....	51
7	IDENTIFICACIÓN Y VALORIZACIÓN DE EXTERNALIDADES.....	53
7.1	AUMENTO DE LA DISPONIBILIDAD DE NUTRIENTES.....	53
7.2	REDUCCIÓN DE OLORES.....	56
7.3	HIGIENIZACIÓN.....	56
7.4	ELIMINACIÓN DE MALEZA.....	57
7.5	AHORROS DE COMBUSTIBLE/REDUCCIÓN DE DEFORESTACIÓN.....	57
7.6	REDUCCIÓN DE GASES EFECTO INVERNADERO.....	57
7.7	CUMPLIMIENTO DE LA NORMATIVA AMBIENTAL.....	58
7.8	EMPLEO RURAL.....	59
7.9	RESUMEN.....	59
8	ESTIMACIÓN DEL IMPACTO SOCIOECONÓMICO.....	61
9	FACTORES QUE HAN INFLUIDO EN EL ÉXITO Y PROPAGACIÓN DE BIODIGESTORES EN PROGRAMAS DE DISEMINACIÓN.....	66
9.1	PARTICIPACIÓN.....	66
9.2	TABÚES RELIGIOSOS Y SOCIALES.....	67
9.3	CLASES SOCIALES Y BARRERAS SOCIALES.....	67
9.4	REGULACIONES SOCIALES SOBRE LA SEGREGACIÓN DE LA MANO DE OBRA.....	69
9.5	CONSIDERACIONES DE GÉNERO.....	69

9.6	IMPLICANCIAS PARA EL DISEÑO DE UN PROGRAMA PILOTO DE BIODIGESTORES	70
10	RESUMEN.....	72
11	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	75

Figuras

Figura A-1: Croquis Biodigestor Tipo de 5 m³

Figura A-2: Croquis Biodigestor Tipo de 10 m³

Figura A-3: Croquis Biodigestor Tipo de 15 m³

Anexos

Anexo A: Existencia de Vacas por Tipo, según Comuna

Anexo B: Caracterización de Purines

Anexo C: Cumplimiento de la Normativa Ambiental

Anexo D: Evaluación Económica

Anexo E: Directorio de Proveedores

RESUMEN EJECUTIVO

Chile tiene una alta dependencia energética, el 72% de la energía que el país consume, se importa. Por tal motivo, el Gobierno de la Presidenta Michelle Bachelet J. ha establecido como prioridad estratégica la diversificación de la matriz energética como condición que permita garantizar el desarrollo futuro del país. Compromiso que el Ministerio de Agricultura ha asumido con su propuesta "Contribución de la Política Agraria al Desarrollo de una Política de Biocombustibles en Chile".

El objetivo general del estudio es determinar la viabilidad técnica, económica, social y ambiental de biodigestores para predios de pequeños productores lecheros con paquetes tecnológicos incorporados en prototipos teóricos para tres escalas de productores, a fin de contar con información técnica que permita implementar un Programa Piloto de Biodigestores.

Para ello, los principales aspectos que se tomaron en cuenta se relacionan con lo siguiente:

- Caracterización del Pequeño Productor Lechero.
- Condiciones Climáticas en el Sur de Chile (Región del Bio Bio a Región de Los Lagos).
- Cuantificación de la Biomasa Disponible y Estimación de la Generación de Biogás.
- Identificación de Alternativas de Tratamiento y Aprovechamiento Disponibles.
- Diseño de Biodigestores a Nivel de Ingeniería Conceptual.
- Identificación y Valorización de Externalidades.
- Estimación del Impacto Socioeconómico.
- Factores que han influido en el Éxito y la Propagación de Biodigestores en Programas de Diseminación.

Caracterización del Pequeño Productor Lechero

Se ha estimado que la evolución de la recepción de leche por las plantas lecheras del país ha evolucionado de 1.500 millones de litros en el año 1998 a 1.972 millones de litros en el año 2008. El procesamiento de la leche se encuentra concentrado en cuatro empresas principales: Soprole, Nestlé, Colún y Loncoleche. Estas cuatro plantas concentran el 75% de la recepción total de la leche producida en el país.

El Instituto Nacional de Estadísticas (INE) clasifica a los pequeños productores lecheros como aquellos que poseen un ganado de entre 10 y 49 cabezas. De la misma manera, el Instituto de Desarrollo Agropecuario (INDAP) se refiere a los pequeños productores como "Agricultura Familiar Campesina (AFC)" y considera la existencia de tres estratos de acuerdo al número de vacas lecheras:

- 10 y menos vacas lecheras.
- 11 a 20 vacas lecheras.
- 21 a 49 vacas lecheras.

El Censo Nacional Agropecuario y Forestal, INE 2007, indica un número total de lecherías AFC de 7.460, presentándose un total 67.430 vacas lecheras, es decir un promedio de 9,0 vacas lecheras por lechería AFC. Al interior del rebaño lechero AFC, el número de vacas lecheras representa 36% del rebaño total.

Se observa un fuerte predominio de overo negro y overo colorado. Sólo en la Región del Bio Bio se observa un aumento de la raza holando americana, lo que se interpreta como señal de la intensificación de la producción en la región. Los promedios de producción de leche oscilan entre 1.800 y 2.300 litros por vaca año.

La edad de los productores de leche se concentra en su mayoría en rangos de edades en promedio superior a 54 años. En promedio lleva 20 años como productor lechero y a medida que lleva más años como productor lechero, menor es su nivel educacional. La participación de productoras de sexo femenino fluctúa alrededor de 15 a 20%, no existiendo diferencias en cuanto a sus promedios de edad con el grupo de productores varones. En promedio el grupo familiar esta compuesto por 2,5 cargas más el jefe de hogar.

Los ingresos generalmente provienen del conjunto de la explotación agropecuaria de los productores, aunque el ingreso por actividades no relacionadas con la producción lechera no supera la tercera parte del ingreso total.

Condiciones Climáticas en el Sur de Chile (Región del Bio Bio a Región de Los Lagos)

En la región de interés del estudio, se presentan temperaturas medias anuales de entre 10 y 15°C, observándose temperaturas más bajas aún durante el invierno. Adicionalmente, se registra una alta pluvimetría en el sur de Chile, con precipitaciones superiores a los 1.500 mm.

Biorreactores no calefaccionados operan satisfactoriamente solamente en lugares con temperaturas medias anuales de 20°C o bien donde se presentan temperaturas medias diarias superiores a 18°C. La tasa de producción de metano aumenta a mayor temperatura, sobre todo en el rango de 20 a 28°C. La digestión anaerobia de material orgánico requiere una temperatura mínima de 15°C ya que debajo de esta temperatura la generación de metano es mínima. A temperaturas bajas, se disminuye drásticamente la tasa de generación de biogás, y, a la vez aumenta el tiempo necesario para la digestión y en consecuencia el tamaño del biorreactor, y finalmente los costos.

Cuantificación de la Biomasa Disponible y Estimación de la Generación de Biogás

Los agricultores pequeños utilizan razas mayoritariamente de doble propósito, es decir para producción de leche y carne, con poca a mediana influencia de razas netamente lecheras. Una vaca lechera para un agricultor pequeño pesa 500 kg, produciéndose aproximadamente 45 kilos de fecas y orina en un periodo de 24 horas.

En el sur del país, los animales estabulados, no alcanzan el 5%, por lo cual la gran mayoría del estiércol generado, de características sólidas, no es recolectado, dejándolo como abono para el mismo campo. Por tanto, se ha estimado un factor de recuperación de 17%, equivalente a 7,5 kg de fecas por vaca acumulados en una lechería, como máximo. Considerando que los pequeños productores frecuentemente no cuentan con patios de espera cementados, para efectos del presente estudio, se considera un factor de recuperación más reducido aún, de aproximadamente 10 a 12%. Entonces, la cantidad de fecas y orina que potencialmente se podría recuperar para ser alimentada a un biodigestor es de 4,5 kg por vaca día.

En cuanto a la biomasa disponible, en el estudio se consideran exclusivamente los purines, ya que biodigestores pequeños podrían presentar problemas operacionales al utilizar otros sustratos con mayor potencial metanogénico.

Considerando las bajas temperaturas de la región, se ha adoptado un tiempo de residencia de 100 días, muy superior a los 60 días que generalmente se emplea para la digestión de estiércol de bovinos. En este caso, para un animal, se obtendría la siguiente generación de biogás, tomando en cuenta las consideraciones anteriores:

- Generación de biogás: 150 L/vaca/d
- Generación de biogás específica del biodigestor: 167 L/m³/d
- Contenido de metano: 55%
- Contenido energético: 5,5 kWh/m³

Considerando lo anterior, el potencial de biogás de pequeños productores lecheros representa solamente el 3,3% del potencial energético a partir de estiércol de vacuno estimado por la Comisión Nacional de Energía (CNE)/Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ), para estas regiones.

En el caso de un productor promedio que cuenta con nueve vacas lecheras, se obtienen los siguientes valores:

- Biomasa Disponible: 40 kg/d
- Sólidos Volátiles: 5 kg/d
- Potencial de Biogás: 1.300 L/d
- Contenido Energético: 7,2 kWh
- Equivalente en Diesel (1 kWh = 0,1 L): 0,7 L
- Equivalente en Gas licuado (1 kWh = 78 g): 0,6 kg

Identificación de Alternativas de Tratamiento y Aprovechamiento Disponibles

En el mundo se han diseñado un gran número de biodigestores, los cuales responden a las diversas condiciones climáticas y socioeconómicas. Los más conocidos y utilizados son los siguientes:

- Biodigestor de Domo Fijo (Tipo "Chino").
- Biodigestor de Domo Flotante (Tipo "Indio").
- Biodigestor de Estructura Flexible.
- Digestor Flotante.
- Digestor con Tanque de Almacenamiento Tradicional y Cúpula de Polietileno.
- Digestor de Alta Velocidad o Flujo Inducido.
- Instalaciones Industriales.

Se han identificado como tecnologías pertinentes para posibles proyectos pilotos el tipo chino, el tradicional con cúpula de polietileno y el de estructura flexible, tomando en cuenta factores como:

- Aislamiento térmico: El área de interés presenta temperaturas bajo los 15°C, temperatura mínima requerida para la digestión anaerobia. Los sistemas de calentamiento son caros y requieren de mantención intensiva, por lo que su aplicación no es factible en pequeñas plantas. En consecuencia, se recomienda situar el digestor bajo tierra de modo que estos queden aislados.

- Costo de inversión: Este es el factor más importante dado que se trata de biodigestores aplicables en pequeños predios lecheros, por lo que la factibilidad económica es un factor decisivo.
- Vida útil: La vida útil de los biodigestores es otro factor importante a considerar el cual, junto al costo de inversión, darán la factibilidad del proyecto.
- Requerimientos de Mantención.

El digestor tipo "Chino" cumple con los factores previamente expuesto por lo que es seleccionado como una de las tres tecnologías pertinentes y como biodigestor tipo para su posterior diseño conceptual.

El digestor tradicional con cúpula de polietileno también cumple con los factores establecidos, siendo la única desventaja el aislamiento térmico medio debido a la cúpula de polietileno, la cual no podrá quedar bajo tierra, generando un punto de pérdida de calor.

Y por último, se selecciona el digestor de estructura flexible debido a que la gran ventaja que presenta es el bajo costo de inversión, a pesar de su corta vida útil.

En tanto, las tecnologías disponibles para el aprovechamiento del biogás son las siguientes:

- Cocinillas.
- Lámparas.
- Calefactores y Calentadores.
- Refrigeradores.
- Motores a Biogás.
- Equipos Combinados (Combined Heat and Power Systems, CHP).

Para el posible uso del biogás, también se podrán utilizar los siguientes valores referenciales:

- Requerimiento de gas para cocinar: 0,1 - 0,3 m³/persona
- Requerimiento de gas para una lámpara: 0,1 - 0,15 m³/h
- Requerimiento de gas para un motor: 0,6 m³/kWh (Eficiencia de aprox. 25%)

Para este proyecto, se estima que se utilizará el gas producido para su posible uso en la preparación de alimentos, el calentamiento de agua y en lámparas.

Diseño de Biodigestores a Nivel de Ingeniería Conceptual

Como base para el diseño de los biodigestores "chinos", se seleccionaron los siguientes tamaños de reactores para los diferentes tamaños de plantas, estableciéndose un tiempo de retención de 100 días para sustrato diluido:

- Biodigestor 1: 5 m³
- Biodigestor 2: 10 m³
- Biodigestor 3: 15 m³

Para la construcción de las partes de una planta de biogás se propone hacerlas en hormigón armado o ladrillos, de acuerdo a las condiciones particulares de cada sitio.

- Tanque de acopio/mezcla.
- Alimentación y descarga del digestor.
- Digestor.
- Almacenamiento de biogás.
- Cañerías de biogás, válvulas y accesorios.
- Remoción de sulfuro de hidrógeno.
- Purgador de condensado.

En el capítulo seis se presenta el diseño de los biodigestores a nivel de ingeniería conceptual para los tres tamaños propuestos. En específico se entrega lo siguiente:

- Memoria descriptiva.
- Memoria de cálculo.
- Especificaciones técnicas.
- Diagrama de flujo.
- Planos.
- Estimación del consumo de los insumos principales.

Identificación y Valorización de Externalidades

Las propiedades del estiércol digerido resultan de una serie de factores, siendo los principales la composición del sustrato fresco y los niveles de los parámetros del proceso fermentativo. Las propiedades beneficiosas del sustrato digerido que se obtiene mediante la degradación biológica del estiércol bovino son:

- Aumento de la Disponibilidad de Nutrientes.
- Reducción de Olores.
- Higienización.
- Eliminación de Maleza.
- Homogenización.

Adicionalmente, el gas generado en los biodigestores podrá ser aprovechado energéticamente, por lo cual su conversión genera las siguientes externalidades:

- Ahorros de Combustible/Reducción de Deforestación.
- Reducción de Gases Efecto Invernadero.

En la siguiente tabla se presenta, a modo de resumen, las externalidades previamente expuestas.

**TABLA:
IDENTIFICACIÓN DE EXTERNALIDADES**

Externalidades	Valoración Cualitativa
Aumento de la disponibilidad de nutrientes	• Mejora calidad del suelo • Mayor permeabilidad • Mejora propiedades higroscópicas • Evita erosión y contaminación por nitratos
Homogenización	• Al disminuir sólidos volátiles se obtiene un efluente menos viscoso → Se logra una disposición uniforme en el campo
Reducción de olores	• Disminuye la intensidad del olor asociado al estiércol entre un tercio y la mitad • Una vez dispuesto en el campo, olor no es perceptible luego de tres horas
Higienización	• Según la temperatura del proceso y tiempo de retención, se logra disminuir significativamente microorganismos patógenos → Disminuyen vectores de enfermedades
Eliminación de malezas	• Según la temperatura del proceso y tiempo de retención, se logran degradar semillas que germinan en el suelo → Mejora calidad de las praderas y cultivos
Ahorros de combustibles/ reducción de la deforestación	• El biogás generado puede reemplazar el uso de leña/gas licuado → Se reduce la deforestación
Reducción de gases efecto invernadero	• Sustitución de leña y carbón • Disminuye la producción de fertilizantes artificiales • Reducción del efecto invernadero al convertir metano a dióxido de carbono • Reducción de hasta un 10% de óxido nitroso

Por lo general, proyectos de biodigestores para pequeños productores no ingresan al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA), ni contarán con un programa de monitoreo de sus efluentes, considerando las características de tales proyectos, el espíritu de la ley (aplicabilidad a proyectos "industriales") y los costos asociados a la tramitación, que haría inviable cualquier sistema de tratamiento.

No obstante lo anterior, la valoración monetaria de algunas de las externalidades es compleja, y requiere de estudios e investigaciones adicionales. Los impactos identificados y medidos en esta ocasión corresponden a aquellos que habitualmente se incorporan en proyectos de esta naturaleza: a) Uso de biogás como fuente energética, b) Utilización del efluente como fertilizante y c) Reducción de gases de efecto invernadero.

Se ha demostrado, que, en el caso de biodigestores de pequeño tamaño, éstas dos últimas externalidades son despreciables en su magnitud, razón por la cual en la estimación del impacto socioeconómico se consideran solamente los beneficios del uso de biogás como sustituto de gas licuado.

Estimación del Impacto Socioeconómico

Se realiza una estimación de costos de inversión y de operación de los biodigestores propuestos. Además de indicadores económicos se calculan los punto de equilibrio que equivaldrían al costo del combustible a sustituir, para que los proyectos sean económicamente viables, dado que no son rentables a los precios actuales de esta fuente energética.

Para que los proyectos sean económicamente rentables desde el punto de vista de una evaluación privada, requieren de un subsidio debe cubrir casi el 100% del monto de inversión en el caso de un biodigestor de 5 m³, mientras que para un biodigestor de 10 m³ el subsidio debe alcanzar dos tercios de la inversión y en el caso de un biodigestor de 15 m³ el subsidio correspondería a aproximadamente la mitad del monto de inversión.

En este caso, el costo unitario que permite autofinanciar el biodigestor a través de ahorro en gas licuado fue calculada entre \$1.535 (Vd 15 m³) y \$3.300 (Vd 5 m³) por kilo de gas licuado, dependiendo de la tasa de descuento aplicable y el volumen del biodigestor.

En el caso de una evaluación social, este escenario no cambia sustancialmente. Para un biodigestor de 5 m³, el subsidio debe cubrir el 85% del monto de inversión, mientras que para los biodigestor de 10 m³ y 15 m³ el subsidio debe alcanzar 54% y 39% de la inversión, respectivamente. El costo unitario que permite autofinanciar el biodigestor a través de ahorro en gas licuado fue calculada entre \$1.435 (Vd 15 m³) y \$2.225 (Vd 5 m³) por kilo de gas licuado, dependiendo del volumen del biodigestor.

Bajo los supuestos de un precio de gas licuado de \$1.000/kg, y un costo de capital de 15%; el costo adicional en que debe incurrir el productor es del orden de \$1,6 millones en el caso de un biodigestor de 5 m³ y en el caso de biodigestores de 10 m³ y 15 m³, este valor aumenta a \$2,2 millones y \$2,6 millones respectivamente.

Desde el punto de vista social, esta misma inversión significa un costo social o real del orden de \$1,3 millones. Por lo anterior, en este caso particular, un subsidio sólo se justificará si los impactos positivos no-valorados en esta evaluación superan dicho costo social. El monto del subsidio máximo es el resultado del exceso de beneficios sociales sobre \$1,3 millones.

En concordancia con lo anterior, el efecto que tendría un Programa Piloto de Biodigestores sobre la relación comercial con la agroindustria y en la estructura de costos del pequeño productor, dependerá exclusivamente del subsidio a entregar.

A juicio del consultor, y en base a los antecedentes disponibles, no es económicamente conveniente desde el punto de vista social o de país, impulsar la ejecución de la iniciativa.

Factores que han influido en el Éxito y la Propagación de Biodigestores en Programas de Diseminación

El consultor propone enfocarse en aquel grupo de productores que presentan una producción más intensiva, lo que permitirá captar una alta cantidad de purines. Tiene además un mayor número de animales, lo cual permitirá mejorar la relación costo-beneficio, por efectos de escala y la implementación de biodigestores de mayor tamaño.

De acuerdo la información entregada por INDAP, el grupo de productores de leche que se benefician con el instrumento Servicio de Asesoría Técnica (SAT) podría constituir el grupo objetivo de un programa piloto.

Considerando lo anterior, se deben privilegiar zonas con menor pluvimetría y mayores temperaturas medias anuales. Adicionalmente, se requieren salas de ordeña cementadas y en lo posible salas de espera techadas y cementadas. Las aguas lluvia deben ser separadas del flujo de las aguas de lavado. En lo posible se debe trabajar con productores que tengan implementados pozos purineros adecuados.

La diseminación debe apoyarse en los organismos estatales como impulsor principal, dado que la inversión particular en un biodigestor significa un gasto inicial muy fuerte que en las condiciones actuales no generará suficiente retorno.

Por lo mismo, se requieren incentivos o subsidios para fomentar la implementación de estos biodigestores pequeños, que varían entre el 50% al 100% de su costo de inversión. Además se debe considerar un apoyo periódico, mediante visitas de técnicos especializados, durante al menos el primer año de operación de cada biodigestor.

En Chile existen muy pocas personas y empresas con capacidades en la instalación de biodigestores, por lo cual, se sugiere definir un número adecuado de biodigestores a implementar en un programa piloto y su adjudicación a uno o tres proveedores, para disminuir los costos de transacción y generar márgenes atractivos.

Estructura del Informe

Al principio, en el capítulo 2, y en base a los antecedentes disponibles, se realiza una caracterización breve del sector lechero, entregando una definición del "pequeño productor", su distribución regional, provincial y comunal, así como una caracterización socio-económica del sector, y una reseña de su evolución histórica y proyección futura.

Considerando que las condiciones climáticas son de importancia primordial sobre el rendimiento de los biodigestores, en el capítulo 3 se entrega una descripción climatológica de la región de interés, concluyendo con sus implicancias para el proyecto.

En el capítulo 4 se realiza una caracterización y cuantificación de los residuos generados y la biomasa disponible para su tratamiento en los biodigestores y adicionalmente se estima la generación de biogás bajo las condiciones climáticas expuestas en el capítulo anterior.

Las distintas alternativas de tratamiento, sean éstos los diferentes tipos de biodigestores, así como las tecnologías disponibles para el aprovechamiento del biogás generado, se discuten en el capítulo 5. Se presentan los diversos biodigestores aplicables para la digestión de estiércol bovino y se seleccionan las tres tecnologías más pertinentes para pequeños productores lecheros.

En el capítulo 6 se diseñan los biodigestores a nivel de ingeniería conceptual, para las tres escalas propuestas, incluyendo una memoria descriptiva, memorias de cálculo, especificaciones técnicas, entre otros.

La identificación y valorización de externalidades se presenta en el capítulo 7, enfocándose en la disponibilidad de nutrientes, posibles ahorros energéticos y el cumplimiento de la normativa ambiental.

La estimación del impacto socioeconómico se presenta en el capítulo 8 y en el capítulo 9 se indican factores que han influido en el éxito y la propagación de biodigestores en programas de disseminación.

Finalmente, en los capítulos 10 y 11 se presenta un resumen de lo anteriormente expuesto, las principales conclusiones y las referencias bibliográficas, respectivamente.

1 OBJETIVOS Y ANTECEDENTES DISPONIBLES

1.1 Antecedentes y Justificación

Chile tiene una alta dependencia energética, el 72% de la energía que el país consume, se importa. Por tal motivo, el Gobierno de la Presidenta Michelle Bachelet J. ha establecido como prioridad estratégica la diversificación de la matriz energética como condición que permita garantizar el desarrollo futuro del país. Compromiso que el Ministerio de Agricultura ha asumido con su propuesta "Contribución de la Política Agraria al Desarrollo de una Política de Biocombustibles en Chile".

En este escenario los biocombustibles, se han convertido en tema ineludible de las agendas tanto de los Ministerios de Agricultura, Energía y Economía, como de las agencias internacionales debido a su impacto en el desarrollo socio-económico del país, en las cadenas alimentarias, en la sustentabilidad ambiental como también en las oportunidades para la agricultura, en especial en la incorporación de los pequeños agricultores como agentes relevantes de este impacto.

Los antecedentes anteriores señalan la conveniencia de impulsar un programa de promoción y desarrollo de la alternativa energética del biogás entre pequeños productores lecheros, por cuanto:

- las exigencias legales (DS N° 90, de 2000 y DS N° 46, de 2002, ambos del MINSEGPRES), y comerciales hacen imperioso actuar sobre los residuos generados en los procesos agroindustriales en toda su cadena de valor como componente de un código de Buenas Prácticas Ganaderas y Agrícolas;
- los encadenamientos productivos para los mercados externos contienen como elemento de análisis, la trazabilidad de los productos, de sus insumos, y de sus métodos productivos;
- es ambientalmente positivo, contribuye a capturar metano que es un gas de gran incidencia en el efecto invernadero;
- se inserta, dentro de la Estrategia Nacional de Cambio Climático: adaptación, mitigación y desarrollo de capacidades, que está impulsando el MINAGRI;
- utiliza biomasa disponible y que se basa en el aprovechamiento de residuos sin valor económico en la actualidad;
- es una opción que, junto de otorgar grados de autonomía energética, permitiría sustituir el uso de leña y otras fuentes energética que afectan al medio ambiente; y
- la tecnología requerida está disponible a distintas escalas y costos.

En este programa está comprometida la voluntad de diversas instituciones: la Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA), el Instituto de Desarrollo Agropecuario (INDAP), la Fundación para la Innovación Agraria (FIA) y la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO).

Se requiere contar con antecedentes preliminares para discutir la pertinencia de impulsar un programa piloto de biodigestores a nivel de pequeños agricultores lecheros beneficiarios de INDAP, localizados fundamentalmente en la zona sur del país. En este contexto, ODEPA ha

financiado este estudio de evaluación preliminar de la viabilidad de un programa piloto de biodigestores en predios de pequeños productores lecheros.

1.2 Objetivos

El objetivo general del estudio es determinar la viabilidad técnica, económica, social y ambiental de biodigestores para predios de pequeños productores lecheros con paquetes tecnológicos incorporados en prototipos teóricos para tres escalas de productores, a partir de una muestra representativa, a fin de contar con información técnica que permita implementar un Programa Piloto de Biodigestores.

Como objetivos específicos, sobre una muestra representativa, se deberán resolver las siguientes tareas:

1. Identificar y caracterizar la actual cantidad y disposición de los residuos orgánicos presentes en los predios.
2. Identificar las tecnologías factibles a nivel de pequeña escala consistentes con la realidad de los agricultores de interés.
3. Diseñar los prototipos teóricos de biodigestores para las tres escalas productivas más representativas del universo de pequeños productores determinado por una base de datos facilitada por INDAP. Estos deben contemplar los aspectos técnicos, económicos, sociales y ambientales.
4. Estimar la potencialidad de producción de biogás y sus alternativas de uso (calor, vapor, electricidad), según la tecnología a aplicar.
5. Establecer niveles de ahorro energético posibles y las fuentes sustituibles.
6. Identificar en la cadena productiva en qué etapa aplicar Buenas Prácticas Ganaderas y Agrícolas, flujo de riles, la disposición y aprovechamiento de la materia orgánica procesada en el biodigestor y utilización de subproductos.
7. Estimar el impacto socioeconómico que tendría la operación de un biodigestor considerando los efectos sobre los niveles de producción de leche, producción agrícola por la utilización de abono orgánico generado, empleo rural y la eliminación de vectores y enfermedades.
8. Identificar y valorar las posibles externalidades asociadas a implementar un biodigestor (reducción contaminación de suelos y napas freáticas, y otras).
9. Identificar los factores críticos para la viabilidad de un programa piloto de biodigestores.

2 CARACTERIZACIÓN DEL SECTOR

En Chile existen - sin grandes variaciones en la última década - cerca de 4,5 millones de cabezas de ganado vacuno, y aproximadamente el 80% de la masa ganadera se encuentra concentrada entre la Región del Maule y la Región de Los Lagos.

ODEPA (2005) ha estimado la evolución de la recepción de leche por las plantas lecheras del país de 1.500 millones de litros en el año 1998 a 1.700 millones de litros en el año 2005. El procesamiento de la leche se encuentra concentrado en cuatro empresas principales: Soprole, Nestlé, Colún y Loncoleche. Estas cuatro plantas concentran el 75% de la recepción total de la leche producida en el país. Para el año 2008 se señala un volumen anual de leche procesada por 29 plantas de 1.972 millones de litros (ODEPA, 2009). No obstante lo anterior, al investigar las empresas de un tamaño menor, se conoció que durante el año 2006 hubo un procesamiento adicional de 264 millones de litros, en 97 plantas distribuidas entre las regiones IV y XI (Consorcio Lechero, 2006; INE, 2007).

2.1 Definición del "Pequeño Productor"

En general, INDAP se refiere a pequeño productor agrícola como aquel que explota una superficie no superior a las doce hectáreas de riego básico y cuyos activos no superan el equivalente a 3.500 Unidades de Fomento. Su ingreso proviene principalmente de la explotación agrícola y trabaja directamente la tierra, cualquiera sea su régimen de tenencia.

El estudio de la Pontificia Universidad Católica de Chile (PUC, 2006) señala que "es difícil establecer en detalle la contribución de los pequeños agricultores a la industria lechera nacional". No obstante lo anterior, el INE clasifica a los pequeños productores lecheros como aquellos que poseen un ganado de entre 10 y 49 cabezas. De la misma manera, INDAP (2008) se refiere a los pequeños productores como "Agricultura Familiar Campesina (AFC)" y considera la existencia de tres estratos de acuerdo al número de vacas lecheras:

- 10 y menos vacas lecheras.
- 11 a 20 vacas lecheras.
- 21 a 49 vacas lecheras.

2.2 Distribución Regional, Provincial y Comunal de Pequeños Productores de Leche

El VI Censo Nacional Agropecuario, INE 1997, establece que el 70% de las existencias bovinas de los pequeños agricultores están ubicadas entre la Región del Maule y la Región de Los Lagos. En cuanto a la dedicación de las explotaciones a la producción lechera señala la siguiente distribución regional:

- | | |
|---------------------------|-------|
| • Región del Maule: | 15,5% |
| • Región del Bio Bio: | 25,8% |
| • Región de La Araucanía: | 17,6% |
| • Región de Los Lagos: | 51,7% |

Basándose en el Censo Nacional Agropecuario y Forestal, INE 2007, cifras más recientes entregan la siguiente distribución de explotaciones por tipo y estrato de bovinos AFC.

TABLA 2-1:
NÚMERO DE EXPLOTACIONES POR TIPO Y ESTRATO DE BOVINOS AFC, SEGÚN PROVINCIA

Provincia	Número Total de Explotaciones	Número de Explotaciones AFC			
		Total AFC	Estratos AFC (Número de Bovinos)		
			10 a 19	20 a 29	30 a 49
Total	98.392	30.190	18.660	6.563	4.967
Región del Bio Bio	22.079	6.726	3.988	1.525	1.213
Ñuble	8.753	2.460	1.430	568	462
Bío-Bío	9.180	2.891	1.726	649	516
Arauco	4.146	1.375	832	308	235
Región de La Araucanía	38.317	10.712	7.105	2.122	1.485
Malleco	8.336	2.546	1.629	528	389
Cautín	29.981	8.166	5.476	1.594	1.096
Región de Los Ríos	12.549	4.530	2.716	991	823
Región de Los Lagos	25.447	8.222	4.851	1.925	1.446
Osorno	5.848	1.813	999	445	369
Llanquihue	9.314	3.387	1.823	855	709
Chiloé	10.285	3.022	2.029	625	368

Fuente: INE-INDAP (2008): Agricultura Familiar Campesina: Lecherías, Estudio Zona Sur, 2006-2007, pág. 21

El Censo Nacional Agropecuario y Forestal, INE 2007, indica un número total de lecherías AFC de 7.460, entregándose el siguiente detalle regional y provincial.

TABLA 2-2:
NÚMERO DE EXPLOTACIONES POR ESTRATO DE VACAS LECHERAS AFC, SEGÚN PROVINCIA

Provincia	Total Lecherías AFC	Número de Lecherías AFC (Vacas Lecheras)			Vacas Lecheras (Cabezas)	Promedio Vacas/ Lechería AFC
		<10	11 a 20	21 a 49		
Total	7.460	5.490	1.707	263	67.430	9,0
Región del Bio Bio	1.263	923	297	43	10.657	8,4
Ñuble	220	178	31	11	1.487	6,8
Bío-Bío	744	499	215	30	6.935	9,3
Arauco	299	246	51	2	2.235	7,5
Región de La Araucanía	1.344	1.131	177	36	8.538	6,4
Malleco	283	253	24	6	1.593	5,6
Cautín	1.061	878	153	30	6.945	6,5
Región de Los Ríos	1.874	1374	432	68	16.137	8,6
Región de Los Lagos	2.979	2.062	801	116	32.098	10,8
Osorno	791	541	211	39	11.637	14,7
Llanquihue	1.511	1051	403	57	14.113	9,3
Chiloé	677	470	187	20	6.348	9,4

Fuente: Elaboración Propia en base a INE-INDAP (2008): Agricultura Familiar Campesina: Lecherías, Estudio Zona Sur, 2006-2007, pág. 22

En el Anexo A se presentan los resultados para cada comuna de las provincias anteriormente mencionadas.

2.3 Cantidad de Animales por Región, Provincia y Comuna

Es importante mencionar que al interior del rebaño lechero de la AFC, el número de vacas lecheras representa 36% del rebaño total. A continuación se presentan la distribución del inventario lechero de la AFC, según categorías.

TABLA 2-3:
DISTRIBUCIÓN DEL INVENTARIO LECHERO AFC, SEGÚN CATEGORÍAS

Provincia	Terneros y Terneras	Otras Vacas	Vaquillas	Novillos	Toros	Bueyes	Vacas Lecheras	Número Vacas Lecheras	Número Total de Animales
Total	33%	6%	14%	5%	3%	6%	36%	67.430	186.992
Región del Bío Bío	32%	7%	13%	4%	2%	3%	38%	10.657	28.081
Nuble	34%	16%	12%	3%	3%	1%	31%	1.487	4.797
Bío-Bío	31%	6%	15%	3%	2%	1%	42%	6.935	16.512
Arauco	32%	5%	9%	8%	3%	10%	33%	2.235	6.773
Región de La Araucanía	32%	13%	12%	5%	2%	6%	30%	8.538	28.093
Malleco	31%	17%	11%	4%	3%	6%	28%	1.593	5.689
Cautín	32%	12%	12%	5%	2%	6%	31%	6.945	22.403
Región de Los Ríos	39%	5%	12%	3%	2%	5%	39%	16.137	41.377
Valdivia	39%	5%	12%	3%	2%	5%	39%	16.137	41.377
Región de Los Lagos	30%	4%	15%	6%	3%	7%	36%	32.098	89.441
Osorno	26%	2%	22%	9%	3%	7%	31%	11.637	37.539
Llanquihue	34%	5%	11%	3%	3%	6%	38%	14.113	37.139
Chiloé	30%	4%	10%	3%	3%	7%	43%	6.348	14.763

Fuente: Elaboración Propia en base a INE-INDAP (2008): Agricultura Familiar Campesina: Lecherías, Estudio Zona Sur, 2006-2007

2.4 Volúmenes de Producción Regional y Provincial

Según el INE, los promedios de producción de leche oscilan entre 1.800 y 2.300 litros por vaca año. Al respecto el informe de la PUC señala un promedio de producción de 2.268 L por vaca masa al año, el cual no difiere en gran forma de los 2.025 L por vaca masa al año calculado mediante el inventario de animales y la producción anual. Dicho indicador para los pequeños productores se encuentra muy por debajo del promedio de la industria en dónde se manejan producciones de 5.200 L por vaca masa al año (PUC cita TodoAgro como fuente).

TABLA 2-4:
PRODUCCIÓN UNITARIA ANUAL DE LECHE EN LECHERÍAS AFC, SEGÚN ESTRATO

Provincia	Producción Unitaria Anual (Litros por Vaca Año)		
	< 10	11 a 20	21 a 49
Ñuble	3.023	2.031	3.818
Bío-Bío	3.080	3.340	4.297
Arauco	1.593	1.195	982
Malleco	2.904	1.972	1.211
Cautín	2.578	3.071	2.993
Valdivia	1.770	1.669	1.810
Osorno	1.865	2.267	1.776
Llanquihue	1.873	2.148	3.159
Chiloé	1.952	2.355	2.412

Fuente: Elaboración Propia en base a INE-INDAP (2008): Agricultura Familiar Campesina: Lecherías, Estudio Zona Sur, 2006-2007

Según el INE, la carga animal por hectárea fluctúa entre 1,3 y 1,7 unidades animales¹, por lo cual, combinando las cifras anteriores, se obtienen promedios de 1.500 a 3.200 L/ha, con mínimos de 700 a 1.000 L/ha y máximos de 4.300 a 6.400 L/ha. En comparación, el estudio de la PUC indica que los pequeños productores de INDAP manejan cargas de 1,05 unidad animal por hectárea, mientras que la industria maneja índices promedio de 1,93 unidad animal por hectárea.

Se observa un fuerte predominio de overo negro y overo colorado. Sólo en la Región del Bio Bio se observa un aumento de la raza holando americana, lo que se interpreta como señal de la intensificación de la producción en la región.

El tipo de lechería predominante es permanente, por lo cual para efectos el presente estudio, se asume producción durante todo el año.

La frecuencia diaria de ordeña asociada al tamaño del rebaño lechero corresponde generalmente a una vez al día en el estrato menor y a dos ordeñas diarias en el estrato mayor.

2.5 Caracterización Socio-Económica del Sector

El INE y la PUC señalan en concordancia que la edad de los productores de leche se concentra en su mayoría a rangos de edades superiores y en promedio a 54 años. Productores de menos de 50 años presentan un mayor nivel educacional con enseñanza media incompleta, mientras que los productores con 50 o más años presentan en promedio un nivel de enseñanza básica completa e incompleta. El productor en promedio lleva 20 años como productor lechero y a medida que lleva más años como productor lechero, menor es su nivel educacional. Según indica el INE, la participación de productoras de sexo femenino fluctúa alrededor de 15 a 20%, no existiendo diferencias en cuanto a sus promedios de edad con el grupo de productores varones. En promedio el grupo familiar esta compuesto por 2,5 cargas más el jefe de hogar.

¹ Una Unidad Animal (UA) es el equivalente a una vaca de 500 kg, y eso es similar a tres terneros.

De acuerdo al INE, los ingresos generalmente provienen del conjunto de la explotación agropecuaria de los productores. En tanto, la PUC señala que en promedio un tercio del ingreso total familiar proviene de actividades no relacionada con la producción lechera, dividiéndose en un 16% de ingresos provenientes de alguna producción distinta a la leche dentro del predio y de un 17% proveniente de ingresos fuera de la explotación agrícola.

Al analizar el número de predios, tipo de propiedad y tenencia, se observa que el pequeño agricultor en promedio realiza su producción en un predio, como dueño único y con sus títulos saneados. En promedio el productor es propietario de predios de 29,5 ha, en la Región del Bio Bio el promedio es de 21,6; en la Región de La Araucanía es de 30,7 y finalmente la Región de Los Lagos con 34 ha. Al analizar las hectáreas dedicadas a la producción lechera, se observa que la Región del Bio Bio utiliza 13,7 ha y tanto la Región de La Araucanía como la Región de los Lagos utiliza 21,8 ha. Es interesante notar que la Región del Bio Bio presenta una producción más intensiva caracterizada por un mayor uso de concentrados, en cambio en la Región de La Araucanía y en la Región de Los Lagos se observa un mayor uso de la pradera.

Respecto al nivel de endeudamiento de los pequeños productores lecheros, se observa que un 64,4% de los productores declara algún nivel de endeudamiento con INDAP o alguna otra institución. El nivel medio de endeudamiento es de \$1.126.360 y un 59,4% de los encuestados por la PUC presenta algún nivel de deuda con INDAP, correspondiendo el 82,7% de la deuda total contraída con INDAP.

En cuanto a la asociatividad a organizaciones gremiales, ésta fluctúa alrededor de un promedio de 40% a 50%. Las lecherías AFC de mayor tamaño exhiben dicha condición más destacada.

2.6 Evolución Histórica y Proyección Futura del Sector

El INE indica que se estaría apreciando una marcada tendencia a una contracción del número de productores AFC dedicados al rubro. Estos dispondrían de un inventario provincial más reducido de vacas lecheras, con una participación relativa generalizada inferior sobre el total del rebaño lechero de cada una de las provincias estudiadas por el INE.

Según el Ministerio de Agricultura (MINAGRI), el mercado permanecerá sin mayores cambios en términos de crecimiento.²

² Fuente: INDAP (sin año): Presentación "Visión Nacional del Fomento al Rubro Bovinos de Leche de INDAP".

3 CONDICIONES CLIMÁTICAS

En este capítulo se presentan breves descripciones climatológicas para cada región de interés, para posteriormente señalar su implicación en el estudio.

3.1 Descripción Climatológica Región del Bio Bio

En esta región, se marca la transición entre los climas templados de Chile central, con veranos más cálidos y más secos, asociados a una actividad primordialmente agrícola y los climas más lluviosos al sur del río Laja, que definen actividades económicas más relacionadas con la ganadería y la silvicultura.

Las características climáticas mediterráneas templadas son las que predominan en esta región, observándose algunas diferencias dentro de este género, producidas por las diferencias en los montos pluviométricos causados por la latitud y la cercanía al mar. Se distinguen así tres subclimas de acuerdo a la duración de la estación seca y la influencia oceánica.

Clima Templado Cálido con Estación Seca de Cuatro a Cinco Meses

Se encuentra en el sector norte de la región y comprende desde la costa hasta una estrecha franja en la frontera con Argentina. Es el mismo clima de la Región del Maule, con las diferencias que corresponden al aumento en latitud. Las temperaturas medias son inferiores a 13°C, con 12°C de amplitud térmica anual y 13°C para la oscilación diaria. Estos valores son más bajos en la zona costera, al norte de Concepción, entre Curanipe y Tomé, en cambio se incrementan hacia la precordillera.

Las precipitaciones anuales superan los 1.000 mm, pero en la alta cordillera la pluviosidad es mucho más alta y de carácter nival, llegando y superando los 3.000 mm. El total que cae en los meses más lluviosos, mayo a agosto, no alcanza el 70% del total anual. Solamente los meses de diciembre a marzo son secos, con totales mensuales inferiores a 40 mm.

Clima Templado Cálido con una Estación Seca Corta (menos de Cuatro Meses)

Comprende la mayor parte de la región, extendiéndose también desde la costa hasta la cordillera. La principal característica es una estación seca más corta, que alcanza cuatro meses en Concepción, tres meses en Coihueco y sólo un mes en Diguillín. Las precipitaciones son más abundantes que más al norte y varían desde unos 1.000 mm anuales al oriente de la Cordillera de la Costa hasta más de 3.000 mm en la cordillera, mayormente de carácter nival, pasando por 1.100 mm en Concepción, 1.140 mm en Talcahuano y 1.300 mm en Los Angeles y Mulchén. La precipitación de los meses de mayo a agosto, equivale a un 65% a 70% del total anual, lo que indica que el agua caída de la época de primavera y otoño es importante. En los meses de verano, diciembre a febrero, sólo llueve un 5% a 6% del total anual. El efecto que produce la Cordillera de la Costa, se nota aunque debilitado en esta región, al observar los registros anuales de Concepción y Talcahuano, que superan los 1.100 mm y en cambio en Yumbel, detrás del cordón costero pero más al sur, ligeramente se superan los 1.000 mm.

Las temperaturas medias son ligeramente menores que en el clima del sector norte: Diguillín presenta 1°C menos que Chillán, diferencia que también se asume para la costa, partiendo de valores que son 1°C ó 2°C inferiores a los del interior.

La influencia de la cercanía del mar, se aprecia en las variaciones de la amplitud térmica anual, o diferencia entre la temperatura media del mes más cálido y el más frío: en Concepción es de 7,5°C, en Diguillín de 10,3°C y en Coihueco de 11,4°C. A su vez, la amplitud diaria es baja en Concepción, donde alcanza sólo 10°C, estimándose en unos 14°C en el interior y más aún en zonas precordilleranas.

Clima Templado Lluvioso con Influencia Mediterránea

Este clima se encuentra en el sector costero sur de la región, específicamente en la provincia de Arauco. Está muy determinado por la presencia de la parte más alta de la Cordillera de Nahuelbuta hacia el oriente, que le da características de mayor nubosidad y grandes diferencias térmicas y pluviométricas con la zona contigua a la ladera oriental de dicha cordillera, perteneciente a la Región de La Araucanía.

Las precipitaciones continúan aumentando según la latitud, registrándose en Contulmo más de 140 mm más que en Concepción, ubicada 170 km más al norte. La amplitud térmica anual es baja, del orden de 8°C según los registros de Contulmo. Mientras que la amplitud térmica diaria se estima que es similar a la de Concepción, también del orden de unos 10°C.

3.2 Descripción Climatológica Región de La Araucanía

La región presenta características climáticas de dos tipos, la primera con un clima templado lluvioso con influencia mediterránea, éste se presenta poco más allá de los 38°S hasta las cercanías de Castro aproximadamente los 42°S. Este clima registra un régimen pluviométrico que alcanza valores promedios anuales de hasta 2.000 mm, con una distribución mensual, que registra sus valores máximos en los meses de invierno y una disminución en los meses estivales. Las amplitudes térmicas son de características moderadas en aquellas zonas ubicadas más hacia la costa, aumentando a medida que nos acercamos a aquellas zonas ubicadas en el sector cordillerano; otro tipo de clima que se observa en la zona intermedia, parte norte de la región es el clima templado cálido con estación seca corta menos de cuatro meses. Las características pluviométricas observan registros casi continuos durante todo el año que alcanzan valores promedios anuales superiores a los 2.000 mm y en donde se presenta una distribución mensual significativa entre los meses comprendidos entre marzo y noviembre. Las temperaturas bajo este clima presentan amplitudes moderadas entre el día y la noche alcanzando valores de hasta los 5°C y registros medios anuales de casi 12°C.

Clima Templado Lluvioso con Influencia Mediterránea

Este clima se presenta en la región con características que se hacen sentir a través de la influencia oceánica, con registros moderados de la amplitud térmica en las zonas ubicadas en el sector costero, en tanto en los valles longitudinales y las zonas precordilleranas las amplitudes térmicas anuales registran valores significativos debido a su lejanía de la costa y su mayor característica de continentalidad.

Las precipitaciones registran una distribución a través de todo el año, observándose una leve disminución en sus registros mensuales en época de verano y alcanzando registros superiores a 1.000 mm anuales.

Clima Templado Cálido con Estación Seca Corta (menos de Cuatro Meses)

Este clima se presenta en la zona intermedia de la región, ubicada en la parte norte hasta las proximidades de los 39°. Se caracteriza por presentar precipitaciones distribuidas durante todo el año con una estación relativamente seca, que no va más allá de tres a cuatro meses en periodos estivales. Esta denominada estación seca es en comparación con los meses donde se registra la mayor concentración de agua caída (sobre los 200 mm) y los totales anuales superan los 2.000 mm. En tanto el régimen térmico registra una oscilación de 5°C con una temperatura media anual de casi 12°C, una temperatura media 8°C el mes más frío y una temperatura de 15°C el mes más cálido.

3.3 Descripción Climatológica Regiones de Los Ríos y de Los Lagos

El aumento de las precipitaciones es el principal factor que define un clima lluvioso para las regiones, con la característica que ya no se encuentra ningún mes seco, es decir con totales mensuales inferiores a 40 mm. Los totales anuales de agua caída son superiores a 1.300 mm y sobrepasan los 2.200 mm en algunos sectores específicos (Panguipulli, Corral). Aunque el período más lluvioso continúa siendo el de mayo a agosto, en esos sectores el total de precipitación alcanza el 60% o menos del total anual, como en Puerto Montt y Quellón, donde sólo llega al 50%. Esto indica que el resto del año caen más de 1.000 mm en gran parte de ambas regiones. Las temperaturas continúan disminuyendo con la latitud, pero sus valores medios todavía se mantienen sobre los 10°, por lo que las características de clima templado persisten.

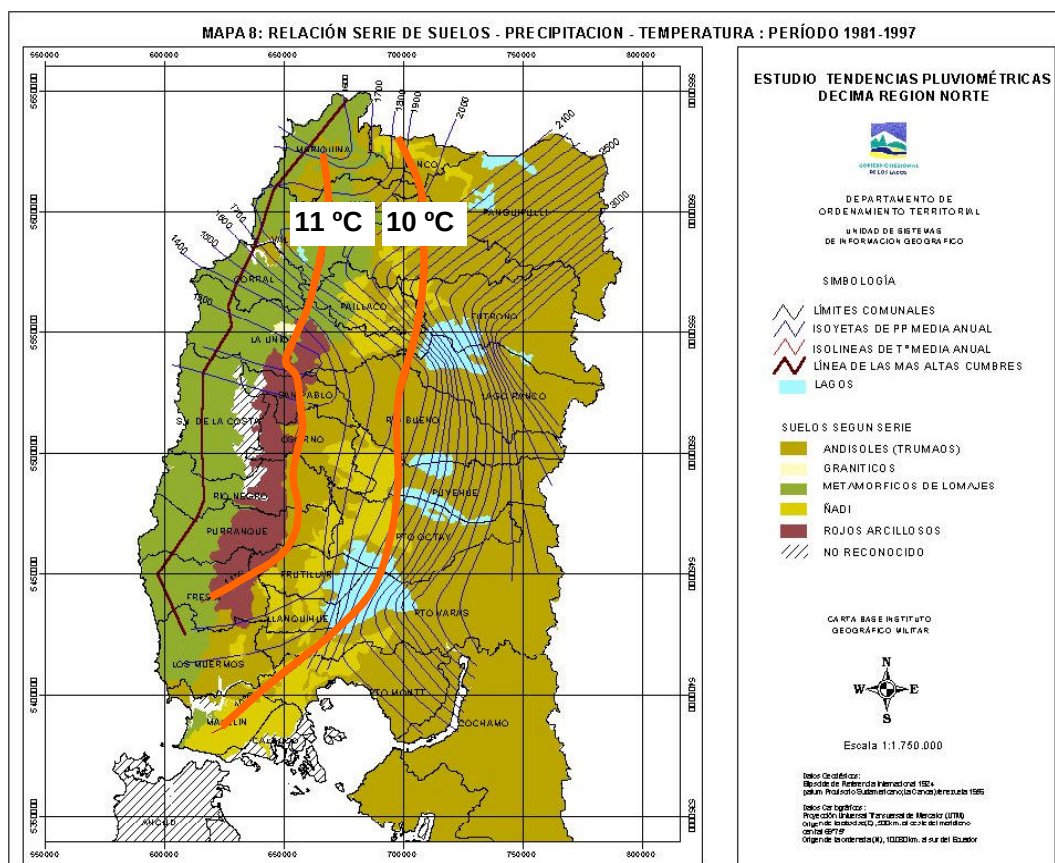
En las regiones se presentan dos subtipos climáticos: el templado lluvioso con influencia mediterránea y el templado frío de costa occidental con máximo invernal de lluvias.

Clima Templado Lluvioso con Influencia Mediterránea

Es el mismo clima que corresponde a la mayor parte de la Región de La Araucanía y que se extiende aproximadamente hasta la latitud 42°20', alcanzando el tercio superior de la Isla Grande de Chiloé y su extensión hacia el territorio continental.

La temperatura media sólo alcanza a 11°C, lo que ya no corresponde a los climas cálidos. La homogeneidad del relieve, también produce valores reducidos en las amplitudes térmicas, así como similitud en las características térmicas generales de ambas regiones. La amplitud térmica anual es casi idéntica en Valdivia y Osorno (8,8° y 8,7° respectivamente) a pesar que la distancia a la costa desde ambas localidades es muy diferente. También es similar la amplitud térmica diaria, del orden de 11°C, en cambio en Puerto Montt sólo alcanza a 8,5°C, por cuanto sus temperaturas están moderadas por el seno de Reloncaví.

De modo ejemplar, en la figura que sigue, se presentan los resultados del Estudio "Tendencias Pluviométricas", elaborado por el Gobierno Regional, que abarca el Norte de la Región de Los Lagos y la Región de Los Ríos. En la representación gráfica se resaltan las isolíneas de temperatura media anual de 10°C y 11°C que cruzan las regiones de norte a sur.



Fuente: GORE Región de Los Lagos - Departamento de Ordenamiento Territorial (sin año)

FIGURA 3-1: ISOLINEAS DE TEMPERATURA MEDIA ANUAL PARA LA X REGIÓN DE LOS LAGOS

Si bien las variaciones de relieve no son suficientes para producir variaciones significativas en la distribución de las temperaturas, sí generan diferencias en los montos de las precipitaciones, las que además se ven influenciadas por la altura y la latitud. En Corral y Niebla se superan los 2.000 mm; descienden a menos de 1.900 mm en Valdivia (Pichoy), descienden más aún en Osorno (1.330 mm) por los efectos de la Cordillera Pelada al oeste y aumentan a 1.800 mm en Puerto Montt. Hacia la Cordillera de los Andes aumentan más todavía y con intensas nevazones en invierno (Puerto Fuy, Huilo-Huilo, Puerto Marín, Lago Rupanco, Lago Chapo, Lago Todos los Santos).

En las regiones existen numerosos lagos, los que además de darle el nombre a una de las dos, ayudan a mantener la homogeneidad térmica y son fuentes de humedad, lo que es otra característica de este clima. La humedad media es superior al 80% y no hay meses con humedad media inferior a 75%.

Las precipitaciones son producidas por frecuentes sistemas frontales que cruzan la zona, los que a su vez producen abundante nubosidad y poca cantidad de días despejados.

Clima Templado Frío de Costa Occidental con Máximo Invernal de Lluvias

Este clima corresponde a la zona que cubre el sector centro y sur de la Isla de Chiloé y su extensión en el territorio continental.

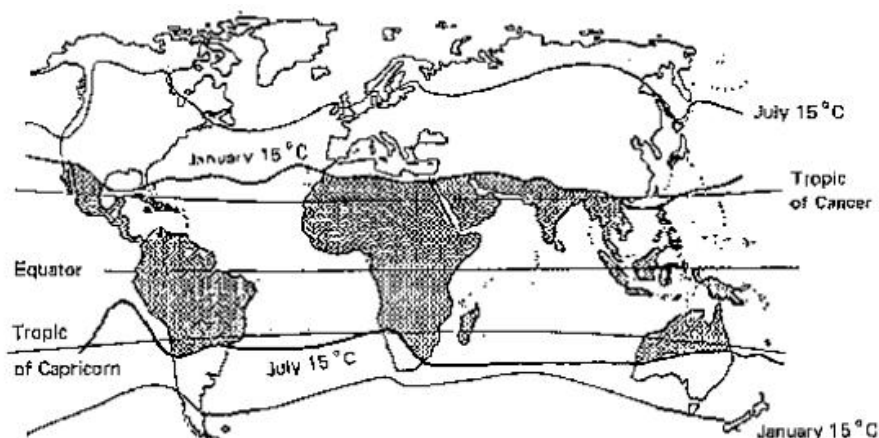
Por su mayor latitud y cercanía a regiones polares, las temperaturas disminuyen, no alcanzando los 10°C como media anual. Estas varían de acuerdo a la exposición a los vientos predominantes, que en esta zona son del oeste. Las temperaturas son mayores en el sector oriental de la Isla de Chiloé que en la costa Pacífica, donde los vientos y las precipitaciones son significativamente más intensos y abundantes, disminuyendo notoriamente las posibilidades de asentamientos humanos y animales.

Las precipitaciones son intensas, pero lo que precipita en los cuatro meses más lluviosos sólo equivale al 50% del total anual. Además disminuyen desde las zonas más expuestas al océano (o al Golfo de Corcovado) hacia el interior, especialmente en los valles interiores más protegidos. En la Isla de Chiloé, en Ancud caen más de 2.300 mm anuales, mientras que en Castro caen menos de 1.900 mm y en Quellón poco más de 2.100 mm. Observando registros de Chiloé continental, en Chaitén caen más de 3.000 mm, en Futaleufú algo más de 2.000 mm y en Palena menos de 1.700 mm.

3.4 Implicancias y Conclusiones para el Proyecto

Si bien la digestión anaeróbica se produce en un rango de temperatura de 3 a 70°C, la literatura especializada señala que biorreactores no calefaccionados operan satisfactoriamente solamente en lugares con temperaturas medias anuales de 20°C o bien donde se presentan temperaturas medias diarias superiores a 18°C. La tasa de producción de metano aumenta a mayor temperatura, sobre todo en el rango de 20 a 28°C. La digestión anaerobia de material orgánico requiere una temperatura mínima de 15°C ya que debajo de esta temperatura la generación de metano es mínima. Por lo tanto, se considera viable la implementación de biodigestores sin calefacción en zonas climáticas donde la temperatura mínima no cae por debajo de este valor por periodos sustanciales. El gráfico que sigue indica la zona que cumple con este requerimiento.³

³ Sobre este aspecto existe concordancia en la literatura especializada. Ejemplos son:
Werner, U.; Stöhr, U.; Hees, N. (1989): Biogas plants in animal husbandry, GTZ-GATE
Information and Advisory Service on Appropriate Technology (1999): Biogas Digest - Volume I, pág. 11



Fuente: Werner, U.; Stöhr, U.; Hees, N. (1989): Biogas plants in animal husbandry, GTZ-GATE

**FIGURA 3-2:
ISOLINEAS DE 15°C PARA EL MUNDO**

En la figura que sigue, se observa la isolínea del promedio anual de 15°C prácticamente no corresponde a la región de interés del estudio, presentándose temperaturas medias anuales de entre 10 y 15°C para esta zona.



Fuente: Desconocida

**FIGURA 3-3:
ISOLINEAS DE TEMPERATURA PARA LA ZONA DE INTERÉS DEL ESTUDIO**

Adicionalmente habría que tomar en cuenta que en la implementación de biodigestores se deberían considerar las temperaturas bajas del invierno, por lo cual se podría afirmar que la totalidad de la zona de interés no cumple con el criterio de 15°C, empleado internacionalmente en el diseño de biodigestores. A continuación se reproducen las temperaturas medias mensuales para Chillán, Temuco y Puerto Montt, indicando con relleno gris temperaturas medias superiores a 15°C.

TABLA 3-1:
TEMPERATURAS MEDIAS MENSUALES PARA CHILLÁN, TEMUCO Y PUERTO MONTT
(°C)

Estación	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.
Chillán	19,7	19,1	17,1	13,5	10,6	8,7	8,0	9,1	10,9	12,8	15,7	18,2
Temuco	16,9	15,6	14,3	12,1	10,1	8,1	7,7	8,0	9,5	11,0	14,0	15,5
Puerto Montt	14,3	13,4	12,0	10,1	8,9	6,7	6,5	6,5	7,7	9,3	11,5	13,2

Fuentes: (1) Temuco: DGA, 1997; (2) Chillán: Estación Chillán - Universidad de Concepción: Valores promedio 30 años (1965 – 1994); (3) Puerto Montt: Estadística Meteorológica Centro Meteorológico Regional Estación El Tepual

No obstante lo anterior, esta caracterización general podría ser alterada por factores climáticos locales, tales como vientos, altura m.s.n.m, y cercanía al mar, así como a largo plazo por el cambio climático. Definitivamente son las condiciones locales que determinarán la viabilidad de la instalación de un biodigestor no calefaccionado.

A temperaturas bajas, se disminuye drásticamente la tasa de generación de biogás, y, a la vez aumenta el tiempo necesario para la digestión y en consecuencia el tamaño del biorreactor, y finalmente los costos.

4 CUANTIFICACIÓN DE BIOMASA DISPONIBLE Y ESTIMACIÓN DE GENERACIÓN DE BIOGÁS

4.1 Introducción

En Chile, el manejo de bovinos se realiza principalmente a potrero, y en corrales y sistemas estabulados. En el sur del país, los animales estabulados, no alcanzan el 5%, por lo cual la gran mayoría del estiércol generado, de características sólidas, no es recolectado, dejándolo como abono para el mismo campo. La difícil recolección de este tipo de estiércol resulta poco factible económicamente, ya que presenta una elevada dispersión. Si bien en los establos de vacunos existe un sistema de lavado relativamente sofisticado, por lo cual la mayor parte del estiércol generado es recuperable en forma de purines. No obstante lo anterior, éste no es el caso de los pequeños productores lecheros.

4.2 Caracterización de la Producción en Relación con la Generación de Residuos

La producción de leche en las **Regiones del Bío-Bío y La Araucanía**, se caracteriza especialmente por sustentarse en un sistema en base a praderas y suplementación de concentrado, existiendo así explotaciones cuya principal fuente de alimentación es el uso de pradera y en menor importancia el uso de concentrado. En efecto, la alimentación se basa principalmente en el uso de la pradera para pastoreo, uso de forraje conservado y concentrado con productos obtenidos del predio (granos, maíz, lupino, etc.) o importados a la explotación.

Respecto al manejo de los residuos, se pudo observar un bajo grado de preocupación por el tema y consecuentemente, incluso los productores que disponen de algún medio de almacenamiento de purines no obtienen mayor provecho de estos (ej. complemento a la fertilización de cultivos o praderas). Por otro lado, sólo un bajo número de pequeños productores lecheros posee pozos purineros, y además la infraestructura no es la adecuada para un manejo óptimo, debido principalmente a que existen patios de espera de tierra y ripio sin las instalaciones que conduzcan los purines generados a estos pozos, por lo que actualmente estas unidades se encuentran recibiendo solo el purin proveniente de la sala de ordeña. Es importante además señalar que los pozos purineros no se encuentran diseñados según las recomendaciones contenidas en la “Guía para el manejo de purines en Lecherías” (“Guía de recomendaciones manejo de purines de lechería”) elaborada por la Superintendencia de Servicios Sanitarios y el Ministerio de Agricultura el año 2006.

Específicamente, los residuos líquidos provienen principalmente del agua de lavado de la sala de ordeña, y en menor grado de los residuos de los animales. Para el lavado de las salas de ordeña se usa generalmente agua de pozo. Los volúmenes de agua utilizados en general fueron altos, no obstante, en la mayoría de los casos se utilizaron mangueras con pistones que disminuyen las pérdidas de agua.

En cuanto a la disposición de los purines no existe mayor aprovechamiento en pequeños productores. Un estudio del Servicio Agrícola y Ganadero (SAG, 2006) informó que en predios de productores grandes adscritos a los programas PABCO presentan un mayor grado de compromiso con el manejo de los residuos, como por ejemplo, uso de mallas para cubrir los

pozos purineros, registros, etc., de igual manera y siguiendo con el esquema común, se observó la aplicación de los purines al suelo durante todo el año.

Para las **Regiones de Los Lagos y Los Ríos** se observan mayores riesgos de contaminación en predios de medianos y grandes productores que realizan una estabulación de los animales en los meses invernales, generándose por ende gran una cantidad de efluentes. En estos casos, el agua lluvia, y las aguas sucias (principalmente del lavado de pisos) son los principales constituyentes en los efluentes de lecherías del Sur, mientras que fecas y orina sólo representan un 25% del volumen total de los efluentes producidos. Para estos productores, el SAG ha determinado una producción diaria de 105 litros de riles por vaca (rango: 34 a 260 litros por vaca).

También en los pequeños productores, fue posible establecer que la mayoría de los agricultores no conocen los volúmenes de efluentes generados en su predio y que comúnmente no toman en cuenta su valor como fertilizante. En general, se pudo establecer que sólo la cantidad de agua utilizada para limpiar los equipos de ordeña era conocida.

Se evidencia una gran contribución de aguas lluvia desde áreas no techadas, techos sin canalización y del agua lluvia que ingresa directamente al pozo purinero descubierto (en caso que exista). Este fenómeno es de particular importancia en predios localizados en áreas de gran pluviometría.

Los purines se generan principalmente en los siguientes lugares:

- Praderas de alimentación.
- Establos.
- Sala de espera y salida.
- Sala de ordeña.

Respecto a las zonas donde realmente se pueden recuperar los purines generados están las áreas de manejo de animales que incluyen: establos, sala de espera y salida de ordeña y sala de ordeña, debido a que en la pradera es bastante complicado poder recuperar el purin generado.

Si bien es cierto que son varias las zonas donde se puede recuperar los purines generados la tasa de recuperación será baja, debido principalmente a las siguientes razones:

- al estar descartada la zona de pradera, que es donde los animales pasan la mayor parte del día, se pierde gran parte del sustrato ya que este queda en las praderas;
- la zona del establo y camas es manejada principalmente con paja, material que genera inconvenientes en la normal operación de un biodigestor;
- las salas de espera y salida de ordeña no cuentan con radieres o emplastillados de hormigón que permitan manejar correctamente los purines generados, y lo que es peor aún, provoca que la fracción líquida se infiltre en la tierra o quede en la superficie formando barros que facilitan la mezcla del estiércol con tierra y áridos presentes en el terreno natural.

4.3 Caracterización de los Residuos Generados

En general, la estimación de la tasa de generación/recuperación de purines es compleja, dado que ésta está sujeta a una amplia variación. En el caso de bovinos, la literatura especializada indica valores de entre 8 y 40 kilos por cabeza diarios. Las tasas de generación que se presentan a continuación son válidas solamente si los animales se mantienen permanentemente en los establos y si se captura tanto la orina como el estiércol. En el caso que los animales permanezcan en los establos durante la noche, solamente se alcanzaría de un tercio hasta la mitad de estos valores. Para efectos comparativos se indican datos para otras especies también.

TABLA 4-1:
TASAS DE GENERACIÓN DE ORINA Y ESTIÉRCOL Y POTENCIAL DE GENERACIÓN DE BIOGÁS

Especie	Tasa Máxima de Generación (en % del Peso Vivo)		Peso Vivo (kg)	Contenido de Sólidos (%)		Relación C/N	Generación de Biogás (L/kg SV)	
	Estiércol	Orina		Sólidos Totales	Sólidos Volátiles		Rango	Valor Común
Bovino	5	4 - 5	135 - 800	16	13	10 - 20	150 - 350	250
Porcino	2	3	30 - 75	16	12	9 - 13	340 - 550	450
Ovino	3	1 - 1,5	30 - 100	30	20	30	100 - 310	200
Aves	4,5	-	1,5 - 2	25	17	5 - 8	310 - 620	460
Humano	1	2	50 - 80	20	15	8	s/i	s/i

Fuentes: Elaboración Propia en base a Kaltwasser (1980), Williamson and Payne (1980), y, Werner, U.; Stöhr, U.; Hees, N. (1989): Biogas plants in animal husbandry, GTZ-GATE

En Chile, el SAG ha realizado estudios específicos sobre los residuos generados por la producción de vacunos de leche en el país, que implicaba el análisis de varios parámetros (nitrógeno, fósforo, materia orgánica, sólidos, etc.) en 28 planteles de bovinos de leche, entre otros. Los resultados, que arrojaron muy amplios rangos, se presentan en el Anexo B.

Los agricultores pequeños utilizan razas mayoritariamente de doble propósito, es decir para producción de leche y carne, con poca a mediana influencia de razas netamente lecheras porque son más exigentes en alimentación y menos rústicas. Estas razas doble propósito son: overo negro y clavel (overo colorado). Generalmente hay un consenso en indicar que una vaca lechera para un agricultor pequeño pesa 500 kg (por las razas utilizadas), produciéndose aproximadamente 45 kilos de fecas y orina en las 24 horas. El Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA) asume que el animal permanece cuatro horas en el patio de espera/sala de ordeña por día y que se producirá purin proporcionalmente a ese tiempo, es decir se obtiene un factor de recuperación de 17%, equivalente a 7,5 kg de fecas por vaca acumulados en una lechería. Si bien dicho valor es real y llega a un resultado correcto, su cálculo es simplificado. Realizando un cálculo más acabado, se obtiene:

- Tiempo activo: 20 horas aproximadas
- Duración de ordeña promedio: 1,5 a 2 horas máximo (las primeras vacas están en la sala unos 25 minutos y las últimas están dos horas)
- Permanencia en la sala y patio de espera: 70 minutos aprox. (Promedio)

- Número de ordeñas 2 al día
- Tiempo total en patio y sala de ordeña: 2 x 70 = 140 minutos (como máximo)
- Factor de Recuperación: 12% (tiempo total/tiempo activo)

Adicionalmente se debe considerar el factor estrés, ya que es un factor muy importante en este cálculo: la vaca cuando esta en el patio y en la sala de ordeña sufre de un período de estrés que la hace producir más fecas durante ese momento. Esto se debe a situaciones como al arreo, a las cornadas de otras vacas, a los gritos de los operarios, a la estimulación de la máquina, etc. Por lo tanto la vaca defeca más en ese momento. Este factor de estrés puede tener un valor cercano al 50% adicional en la generación de residuos, calculándose un factor de recuperación final de 18%. Por tanto, en el caso de patios de espera cementados, se podrían recuperar aproximadamente ocho kilos de fecas y orina por vaca al día.

No obstante lo anterior, tal como se ha explicado, son muy pocos los pequeños productores que cuentan con patios de espera cementados, por lo cual, para efectos del presente estudio se considera un factor de recuperación más reducido aún, de aproximadamente 10 a 12%. Entonces, la cantidad de fecas y orina que potencialmente se podría recuperar para ser alimentada a un biodigestor es de 4,5 kg por vaca día.

4.4 Cuantificación de la Biomasa Disponible

Tal como se ha dicho anteriormente, en cuanto a la biomasa disponible, en el estudio se considerará exclusivamente la biomasa generada en el proceso productivo lechero, es decir, los purines. Dado que se diseñarán solamente biorreactores pequeños que operarán a temperatura ambiente y por debajo los 15°C, no se considera el empleo de otros sustratos, que solamente complicarían el manejo de los biorreactores.

TABLA 4-2:
CUANTIFICACIÓN DE LA BIOMASA DISPONIBLE, SOBRE DISTRIBUCIÓN DEL INVENTARIO LECHERO AFC

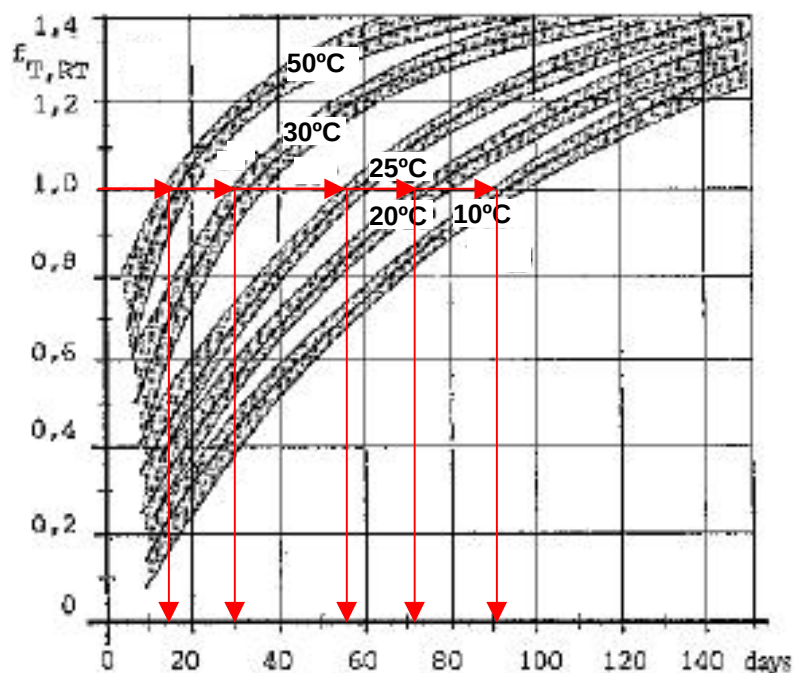
Provincia	Número Vacas Lecheras	Biomasa Disponible (kg/d)	Sólidos Volátiles (kg/d)	Biomasa Disponible (t/a)	Sólidos Volátiles (t/a)
Total	67.430	303.435	39.447	110.754	14.398
Región del Bio Bio	10.657	47.957	6.234	17.504	2.276
Ñuble	1.487	6.692	870	2.442	318
Bío-Bío	6.935	31.208	4.057	11.391	1.481
Arauco	2.235	10.058	1.307	3.671	477
Región de La Araucanía	8.538	38.421	4.995	14.024	1.823
Malleco	1.593	7.169	932	2.617	340
Cautín	6.945	31.253	4.063	11.407	1.483
Región de Los Ríos	16.137	72.617	9.440	26.505	3.446
Valdivia	16.137	72.617	9.440	26.505	3.446
Región de Los Lagos	32.098	144.441	18.777	52.721	6.854
Osorno	11.637	52.367	6.808	19.114	2.485
Llanquihue	14.113	63.509	8.256	23.181	3.013
Chiloé	6.348	28.566	3.714	10.427	1.355

Fuente: Elaboración Propia

4.5 Estimación de la Generación de Biogás

Tal como se ha señalado anteriormente, la generación de biogás varía fuertemente con la temperatura en la cual se produce la digestión. La figura que sigue indica la tasa de generación de biogás como función del tiempo de retención (RT) y la temperatura (T) $f_{T, RT}$. Cabe señalar que un factor de 1,0 se refiere a la tasa de generación de biogás indicada en la Tabla 4-1.

Por ejemplo: Asumiendo una tasa requerida de generación de 250 L/kg SV de estiércol bovino ($f_{T, RT}=1,0$), se requieren los siguientes tiempos de retención: 18 días @ 50°C ó 30 días @ 30°C ó 58 días @ 25°C ó 72 días @ 20°C ó 90 días @ 10°C (ver flechas).



Fuente: Werner, U.; Stöhr, U.; Hees, N. (1989): Biogas plants in animal husbandry, GTZ-GATE, pág. 42

**FIGURA 4-1:
TASA DE GENERACIÓN DE BIOGÁS EN FUNCIÓN DEL TIEMPO DE RETENCIÓN Y
TEMPERATURA**

Si bien el tiempo de retención (TRH) para la digestión de estiércol de bovinos es de 60 a 80 días, en el presente caso se debería seleccionar un TRH de al menos 100 días, considerando las bajas temperaturas, para obtener aproximadamente $f_{T, RT} = 1$, correspondiente a una generación típica de biogás de 250 L/kg SV.

En este caso, para un animal, se obtendría la siguiente generación de biogás, tomando en cuenta las consideraciones anteriores:

- Generación de biogás = $4,5 \text{ kg/d/vaca} \times 13\% \times 250 \text{ L/kg} = 150 \text{ L/d/vaca}$
- Generación específica del biodigestor = $167 \text{ L/m}^3/\text{d}$

calculándose el potencial de generación de biogás que se presenta en la tabla que sigue. Sin embargo, la generación de biogás va a depender de la calidad del sustrato alimentado, es decir, de la calidad del estiércol alimentado, lo cual determinará también el tamaño del digestor.

Al tratar con excrementos recolectados en establos sin cementar, se pierde la orina y se requiere la dilución con agua para obtener una mezcla líquida homogénea. Según el contenido de sólidos, se podrá requerir una relación agua/excretas de 1:1, es decir, la masa de excretas tendrá que ser mezclada con la misma cantidad de agua, lo que implicaría aumentar el volumen del digestor al doble.

En cambio, en establos cementados se puede recuperar tanto las excretas como la orina, y junto con el agua de lavado, se obtiene un estiércol que podrá ser alimentado directamente al digestor, sin la necesidad de ser diluido. Por esta razón se ha visto que es recomendable cementar el piso de los establos, dejando canaletas que alimentarán el digestor.

TABLA 4-3:
CUANTIFICACIÓN DEL POTENCIAL DE GENERACIÓN DE BIOGÁS, SOBRE
DISTRIBUCIÓN DEL INVENTARIO LECHERO AFC

Provincia	Número Vacas Lecheras	Biomasa Disponible (t/a)	Sólidos Volátiles (kg/a)	Potencial de Biogás (m^3/a)	Contenido Energético (kWh/a)
Total	67.430	110.754	14.398	3.691.793	20.304.859
Total Región del Bío Bío	10.657	17.504	2.276	583.471	3.209.090
Nuble	1.487	2.442	318	81.413	447.773
Bío-Bío	6.935	11.391	1.481	379.691	2.088.302
Arauco	2.235	3.671	477	122.366	673.015
Total Región de La Araucanía	8.538	14.024	1.823	467.456	2.571.005
Malleco	1.593	2.617	340	87.217	479.693
Cautín	6.945	11.407	1.483	380.239	2.091.314
Total Región de Los Ríos	16.137	26.505	3.446	883.501	4.859.255
Valdivia	16.137	26.505	3.446	883.501	4.859.255
Total Región de Los Lagos	32.098	52.721	6.854	1.757.366	9.665.510
Osorno	11.637	19.114	2.485	637.126	3.504.192
Llanquihue	14.113	23.181	3.013	772.687	4.249.778
Chiloé	6.348	10.427	1.355	347.553	1.911.542

Fuente: Elaboración Propia

En el cálculo anterior se asumió un contenido energético de $5,5 \text{ kWh/m}^3$ de biogás y una composición típica de:

- Metano (CH_4): Rango: 40 - 70 %, Valor típico: 55%
- Dióxido de Carbono (CO_2): Rango: 30 - 60 %, Valor típico: 44%
- Otros Gases Rango: 1 - 5 %, incluyendo
 - - Hidrógeno (H_2): Rango: 0 - 1 %
 - - Sulfuro de Hidrógeno (H_2S): Rango: 0 - 3 %

Cabe señalar que dicho potencial de biogás representa solamente el 3,3% del potencial energético a partir de estiércol de vacuno estimado por la CNE/GTZ, para estas regiones.

En el caso de un productor promedio que cuenta con nueve vacas lecheras, se obtienen los siguientes valores:

- Biomasa Disponible: 40 kg/d (1,2 t/mes ó 14,5 t/a)
- Sólidos Volátiles: 5 kg/d (150 kg/mes ó 1,8 t/a)
- Potencial de Biogás: 1.300 L/d (40.000 L/mes ó 475.000 L/a)
- Contenido Energético: 7,2 kWh/d (215 kWh/mes ó 2.600 kWh/a)
- Equivalente en Diesel (1 kWh = 0,1 L): 0,7 L/d (20 L/mes ó 250 L/a)
- Equivalente en Gas licuado (1 kWh = 78 g): 0,6 kg/d (18 kg/mes ó 220 kg/a)
- Equivalente en Leña (1 kWh = 1 kg): 7,2 kg/d (215 kg/mes ó 2.600 kg/a)
- Equivalente en CO_2 (1 m^3 = 1,6 kg CO_2): 2,1 kg/d (63 kg/mes ó 760 kg/a)

Para el posible uso del biogás, también se podrán utilizar los siguientes valores referenciales:

- Requerimiento de gas para cocinar: 0,1 - 0,3 m^3 /persona
- Requerimiento de gas para una lámpara: 0,1 - 0,15 m^3 /h
- Requerimiento de gas para un motor: 0,6 m^3 /kWh (Eficiencia de aprox. 25%)

5 IDENTIFICACIÓN DE ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO

En este capítulo se identifican: las tecnologías disponibles; las tecnologías disponibles para el aprovechamiento de biogás, y la evaluación de paquetes tecnológicos más pertinentes.

5.1 Tipo de Tecnología

Las tecnologías presentadas se basan en el proceso de digestión anaerobia que es un proceso biológico usado para disminuir la carga contaminante de desechos orgánicos, el cual tiene como beneficio la producción de metano (biogás), y, en algunos casos, la obtención de lodo estabilizado.

Una digestión anaeróbica eficaz es el resultado de la actividad coordinada y combinada de toda la población del digestor, la cual esta constituida por diferentes grupos tróficos que catabolizan el carbono.

La conversión biológica de la materia orgánica parece producirse en tres etapas:

El primer paso del proceso permite la transformación por vía enzimática (hidrólisis) de los compuestos de alto peso molecular en compuestos que puedan servir como fuentes de energía y de carbono celular. Estas enzimas son enzimas extracelulares excretadas por las bacterias, siendo las más comunes las hidrolasas y las liasas.

Se hidrolizan polímeros orgánicos y lípidos para formar elementos estructurales básicos como los monosacáridos, los aminoácidos y los compuestos relacionados con éstos, pudiendo así ser metabolizado por los microorganismos.

Este paso, es el paso limitante del proceso anaerobio debido a que es el paso más lento, dependiendo de éste la razón de conversión de los sólidos a metano y dióxido de carbono. Además la eficiencia de hidrólisis determina la producción final del biogás.

El segundo paso (acidogénesis), implica la transformación bacteriana de los compuestos producidos en la primera etapa en compuestos intermedios identificables de menor peso molecular. La fermentación de los productos de la descomposición produce ácidos orgánicos simples, predominando el ácido acético en digestores orgánicos. El grupo de los microorganismos responsables de este proceso reciben el nombre de no metanogénicos, estando formado por bacterias facultativas y anaerobias estrictas. Éstas también se conocen como bacterias “formadoras de ácido”, encontrándose bacterias como *Clostridium spp*, *Corynebacterium spp*, *Lactobacillus*, *Actinomyces*, *Staphilococcus* y *Escherichia coli*. Otros grupos fisiológicos presentes incluyen los que producen enzimas proteolíticas, lipolíticas, ureolíticas y celulíticas.

El tercer paso (metanogénesis), supone la conversión bacteriana de los compuestos intermedios en productos finales más simples, principalmente metano y dióxido de carbono. Las bacterias responsables de éste proceso son anaerobias estrictas y se les conoce como “metanogénicas” o “formadoras de metano”. Éste grupo de bacterias convierte el hidrógeno y el ácido acético, originado por las bacterias formadoras de ácidos, en gas metano y en dióxido de carbono. Los principales géneros de microorganismos que se han identificado incluyen los

bastoncillos *Methanobacterium* y *Methanobacillus*, y las esferas *Methanococcus* y *Methanosarcina*.

Las bacterias más importantes de este grupo, que son las que degradan el ácido acético y el ácido propiónico, tienen tasas de crecimiento muy lentas, razón por la cual se considera que su metabolismo es un factor limitante del tratamiento anaerobio de los residuos orgánicos.

Con objeto de mantener un sistema de tratamiento anaerobio que establezca correctamente el residuo orgánico, los microorganismos formadores de ácidos y de metano se deben encontrar en un estado de equilibrio dinámico, para el cual es necesario controlar la temperatura, el oxígeno disuelto, el pH, nutrientes y concentraciones inhibitorias de metales pesados y sulfuros.

Aplicación y Tipo de Biomasa

En general, todo tipo de material orgánico puede ser degradado y cada tipo tiene su diseño. Sin embargo, para el caso de pequeñas plantas de biogás, se requiere sustrato líquido como las heces y orina de bovinos, porcinos y aves.

El estiércol bovino es uno de los sustratos más apropiados para la generación de biogás debido a la presencia de bacterias metanogénicas en el estómago del rumiante. Sin embargo, la producción específica de gas es menor, al igual que el contenido de metano (alrededor del 55-60%), debido a la pre-digestión que se inicia en el estómago.

El excremento bovino (heces sólidas) tras ser recolectado, debe ser mezclado con la misma cantidad de agua para lograr una mezcla homogénea, por lo que el volumen necesario del digestor aumenta significativamente. Restos de forraje y materiales extraños deben ser removidos antes de alimentar el sustrato al digestor para evitar obstrucciones. Debido a que en la mayoría de los predios pequeños el ganado es mantenido sobre pisos sin cementar, la orina generalmente no puede ser recuperada.

En cambio, en establos con pisos de cemento, donde es posible captar tanto el excremento como la orina, el estiércol puede ser alimentado directamente al digestor sin requerir su mezcla con agua. Además, la alimentación de orina incrementa la generación de biogás junto con requerir un menor volumen de digestor.

Para efectos del estudio, en el cual se ha observado que la mayoría de los pequeños productores tienen establos con pisos sin cementar, será posible recuperar solamente los excrementos sólidos. Para evitar obstrucciones en el digestor por restos de forraje, piedras u otros materiales extraños, estos deberán ser removidos antes de ingresar al digestor, además de ser diluidos con agua para obtener una mezcla líquida homogénea. No se ha considerado el uso de co-sustratos, ya que frecuentemente requieren de una agitación del biodigestor.

5.2 Identificación de Tecnologías Disponibles

En el mundo se han diseñado un gran número de biodigestores, los cuales responden a las diversas condiciones climáticas y socioeconómicas. Esto se debe principalmente a que el rendimiento de una planta de biogás depende de las condiciones locales en término del clima, economía y tipo de sustrato a digerir.

Los criterios principales son:

- **Espacio:** La disponibilidad de espacio determinará si el digestor será construido bajo tierra o a nivel del suelo, si se construye una planta horizontal o vertical.
- **Estructuras existentes:** Estructuras previamente existentes, como tanques de purines, contenedores de acero o pabellones, podrán ser aprovechados para la construcción del biodigestor.
- **Minimización de costos:** La minimización de costos es un parámetro importante, sobre todo cuando los beneficios monetarios se estiman bajos. En este caso, la solución más económica es el uso de cubiertas flexibles. Cabe mencionar que la minimización de costos generalmente se opone a la explotación máxima de biogás.

A continuación se presentan los tipos de planta más difundidos y probados a nivel mundial.

5.2.1 Biodigestor de Domo Fijo (Tipo “Chino”)

Este reactor se caracteriza por poseer una cúpula rígida en el tope, donde se almacena el biogás generado, y un tanque de compensación, también llamado de desplazamiento.

Cuando se inicia la generación de biogás, el sustrato digerido es desplazado al tanque de compensación. Al aumentar el volumen de gas almacenado en la cúpula, aumenta la presión del gas, y, en consecuencia, existe una mayor altura de sustrato digerido en el tanque de compensación.

Estos reactores son construidos generalmente de cemento, ferro-cemento o ladrillo, siendo el domo recubierto con un impermeabilizante para gas. La construcción es laboriosa, creando puesto de trabajo localmente. La construcción de estos digestores es compleja, por lo que su construcción debe ser supervisada por personal capacitado.

Este tipo de reactor debe ser embutido bajo tierra para contrarrestar las presiones internas, que pueden llegar sobre los 0,15 bar (0,148 atm). Al estar cubierto de tierra y presentar la opción de calentamiento interno, lo hace factible para climas mas fríos, además de servir de protección contra daños físicos.

Estos reactores son factibles económicamente por sobre los 5 m³ de capacidad y se conocen de hasta 200 m³, siendo este tipo de planta los mas difundidos en China, con alrededor de cinco millones de plantas pequeñas.

A continuación se describen los diversos tipos de digestores de domo fijo:

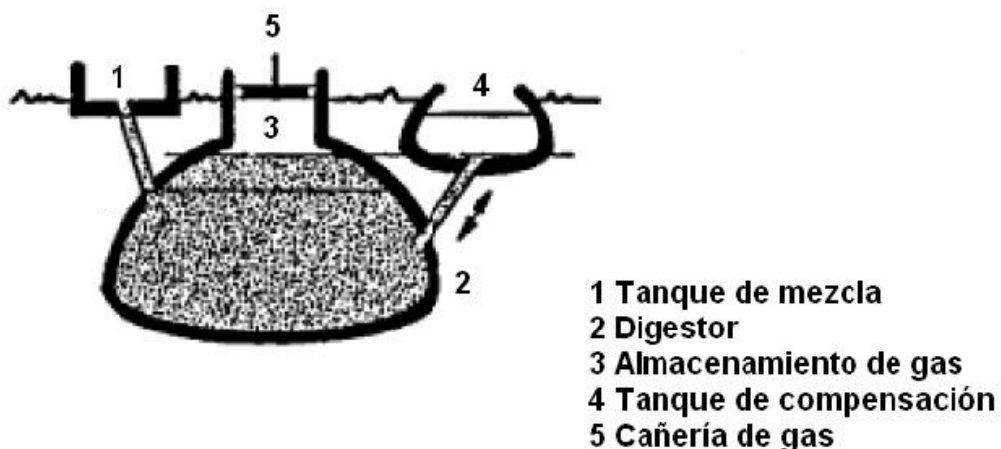
- **Modelo Chino:** fue el primero de todos los digestores de domo fijo. Consiste en un tanque cilíndrico con fondo y tope redondo.
- **Modelo Janata:** fue construido en India como respuesta al diseño del digestor de domo fijo chino. Su diseño llevaba a fisuras en el domo de gas por lo que ya no se construye.
- **Modelo Deenbandhu:** este modelo fue el sucesor del modelo Janata, con un diseño mejorado, requiriendo menos materiales de construcción presentando una forma semiesférica.
- **Modelo Camartec:** este modelo posee una estructura simplificada semiesférica de domo, basado en un anillo flexible de fundamento y fue desarrollado en Tanzania.

Ventajas

- Bajo costo de inversión y larga vida útil.
- No incluye partes móviles y partes oxidables.
- El diseño básico es compacto, no requiere de mucho espacio y se encuentra bien aislado.
- La construcción crea oportunidades de trabajo localmente.

Desventajas

- Cúpula de gas requiere de impermeabilizante especial y conocimiento técnico para la construcción impermeable del reactor.
- Fugas de gas ocurren frecuentemente.
- Presión variable del biogás complica su utilización.
- Cantidad de biogás generado no es inmediatamente visible.
- Excavación puede resultar costosa en subsuelos rocosos.



Fuente: GTZ-GATE (1999): Biogas Digest Volume II. Biogas: Application and Product Development.

**FIGURA 5-1:
ESQUEMA DEL DIGESTOR DE DOMO FIJO**

5.2.2 Biodigestor de Domo Flotante (Tipo “Indio”)

Inicialmente, este tipo de reactor se desarrollaba en India, existiendo alrededor de tres millones de plantas pequeñas.

Presenta una forma de cilindro, siendo lo más característico una cúpula de gas flotante. La cúpula de gas puede flotar sobre el sustrato a digerir o sobre una chaqueta de agua, sobre un soporte que puede ser interno o externo, de modo que el movimiento es ascendente al aumentar la cantidad de biogás, y descendiente al ir disminuyendo la cantidad de gas.

Las plantas de domo flotante con chaqueta de agua son fáciles de mantener, no están limitados a sustratos con alto contenido de sólidos, presentan mayor vida útil y, ópticamente, son más estéticas puesto que no se ensucian con el sustrato. Además, el costo adicional que constituye la chaqueta de agua es moderado y se recomienda su uso al tratar con excrementos.

En algunas plantas se ha sustituido la cúpula flotante por una cubierta flexible, lo cual disminuye significativamente los costos. Sin embargo, no se ha logrado una buena cohesión de la cubierta con el digestor (pérdida de biogás), además de que la cubierta es muy propensa a sufrir daños físicos.

Este tipo de reactor ha sido utilizado principalmente para la digestión de excrementos animales y humanos, con alimentación de sustrato continuo, en pequeños a medianos predios, presentando tamaños de reactor de 5 a 15 m³. Sin embargo, estos reactores han sido implementados por instituciones o zonas agrícolas/lecheras, llegando a tamaños de 20 a 100 m³.

Estos reactores se construyen generalmente de cemento, ferro-cemento o ladrillo, siendo la cúpula flotante de acero o polietileno de alta densidad (aumenta costo). El material de la cúpula debe ser resistente contra rayos UV y contra corrosión.

A continuación se describen los diferentes tipos de digestores de domo flotante:

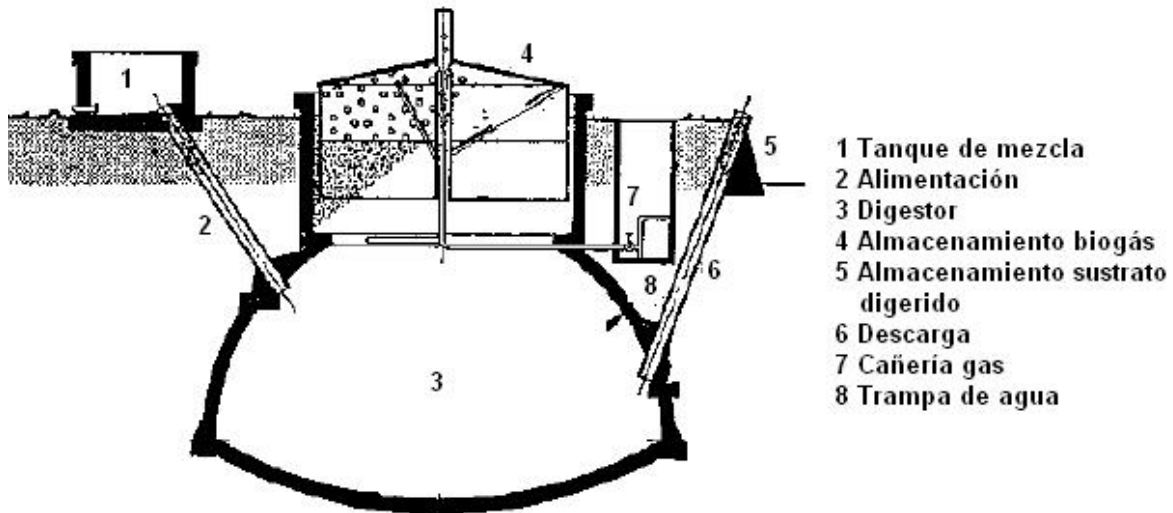
- **Modelo KVIC:** de forma cilíndrica, es el digestor más antiguo y difundido en India.
- **Modelo Pragati:** digestor de forma semiesférica.
- **Modelo Ganesh:** construido con acero angular y cubierta plástica.
- **Modelo BORDA:** combina las ventajas de los digestores semiesféricos con la estabilidad al proceso que brindan digestores de domo flotante, además de aumentar la vida útil a través de la operación con chaqueta de agua.
- **Otros:** algunos digestores han sido contruidos con unidades prefabricadas de concreto reforzado o fibra de vidrio reforzado.

Ventajas

- Este tipo de planta es fácilmente entendible y operable.
- Generan biogás a presión constante y la cantidad es rápidamente visible por la posición de la cúpula de gas.
- Son impermeables a fugas de gas siempre que se realicen las mantenciones adecuadas al dispositivo de almacenamiento de gas.

Desventajas

- La cúpula de acero es relativamente costosa y requiere de mantención intensiva.
- Se debe remover óxido de la cúpula, además de ser pintada regularmente.
- La vida útil de la cúpula de acero es relativamente corta (sobre 15 años, pero en regiones costeras tropicales alrededor de cinco años).
- Son limitados al uso de ciertos sustratos ya que la cúpula flotante tiende a quedar atascada en sustratos fibrosos.



Fuente: Werner, U.; Stöhr, U.; Hees, N. (1989): Biogas plants in animal husbandry, GTZ-GATE

FIGURA 5-2:
ESQUEMA DIGESTOR DOMO FLOTANTE ("INDIO")

5.2.3 Biodigestor de Estructura Flexible

Este tipo de planta consiste en un contenedor de plástico aislante (estructura flexible), también llamado bolsa, el que combina digestor y almacenamiento de biogás.

El gas se almacena en la parte superior de la bolsa mientras que el sustrato a digerir se ubica en la parte inferior, de modo que la cañería de alimentación y salida están unidas directamente al plástico.

El plástico de la bolsa debe ser resistente al clima y a la radiación UV, por lo que se recomienda el uso de plástico reforzado o caucho sintético. Materiales como el denominado barro rojo PVC (red mud plastic), Trevira y polietileno (más usado en América Latina) han sido aplicados con éxito. Sin embargo, la vida útil de estas estructuras, generalmente, no excede los dos a cinco años, por lo que este tipo de planta es recomendable solamente cuando existe la posibilidad de reparación localmente.

Esta tecnología es recomendable como una alternativa transitoria, cuando se requiere una solución rápida para la utilización de la materia prima y generación de biogás.

Ventajas

- Prefabricación estandarizada se obtiene a bajo costo.
- Uso sobre el nivel de tierra es factible en lugares con alto nivel de las aguas subterráneas.
- Se obtienen altas temperaturas de digestión en áreas cálidas.
- Fácil de limpiar, mantener y su vaciado.

Desventajas

- Baja presión de gas por lo que se requieren bombas de gas.
- No se puede eliminar la escoria sólida en la superficie del sustrato a digerir durante la operación.
- Vida útil corta, es susceptibles a daños físicos.



Fuente: Fundación Hábitat Colombia (2005): Biodigestores, una alternativa a la autosuficiencia energética y de biofertilizantes

**FIGURA 5-3:
IMAGEN DIGESTOR DE ESTRUCTURA FLEXIBLE**

5.2.4 Digestor Flotante

Este tipo de digestor, ampliamente difundido en Vietnam, es una variante del digestor de estructura flexible, siendo la principal diferencia que se sitúa en agua, de modo que se encuentra parcialmente sumergida.



Fuente: Fundación Hábitat Colombia (2005): Biodigestores, una alternativa a la autosuficiencia energética y de biofertilizantes.

**FIGURA 5-4:
IMAGEN DIGESTOR FLOTANTE**

5.2.5 Digestor con Tanque de Almacenamiento Tradicional y Cúpula de Polietileno

Este tipo de digestor se caracteriza por poseer una cúpula de polietileno semiesférica, en vez de una cúpula fija o móvil, de modo que presenta una disminución significativamente en los costos de inversión.

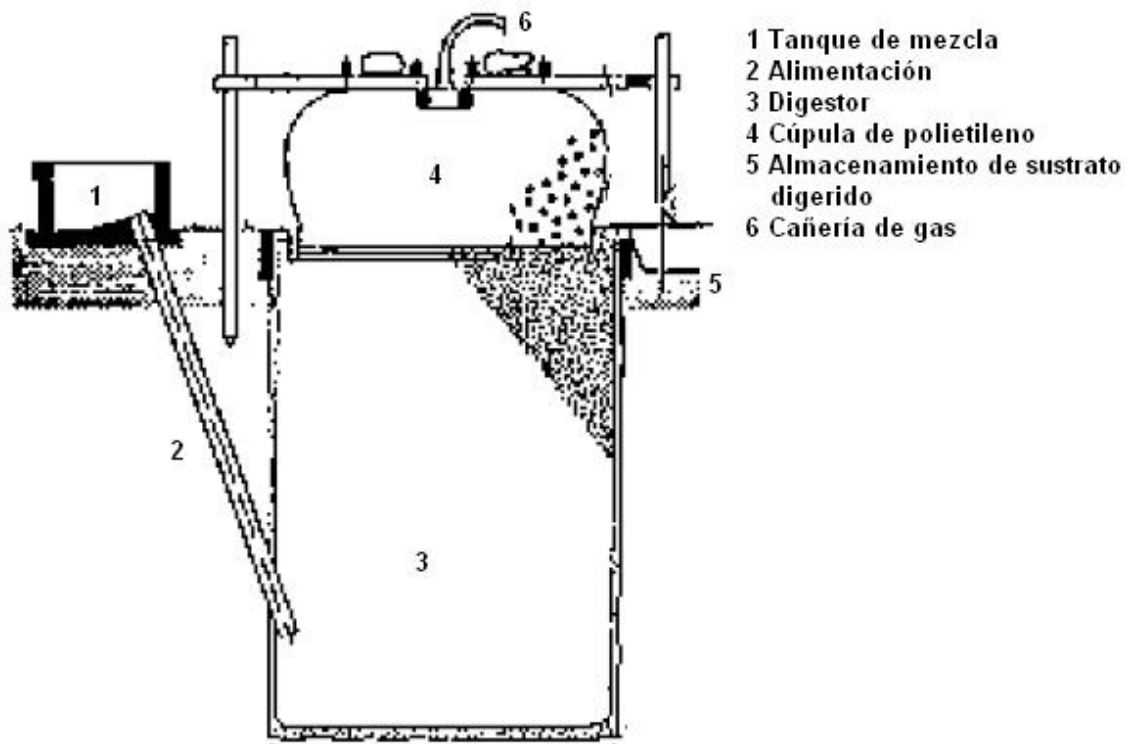
El diseño del digestor sigue la base del tipo “Chino” e “Indio”, pero se diferencia en que se aprovecha una fosa en suelos impermeables, de modo que se recubren las paredes y la base con una delgada capa de cemento. Esto reduce el costo de inversión significativamente pero también su vida útil, estimándose entre dos a cinco años.

Ventajas

- Bajo costo de instalación.
- Fácil de reparar.

Desventajas

- Vida útil corta.
- Requiere de suelo impermeable sobre el nivel de aguas subterráneas.



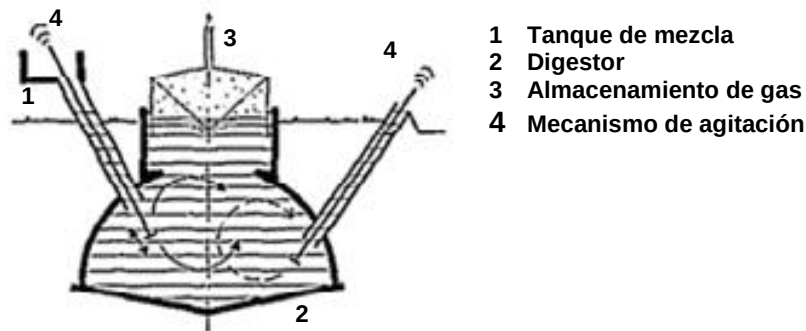
Fuente: Werner, U.; Stöhr, U.; Hees, N. (1989): Biogas plants in animal husbandry, GTZ-GATE

**FIGURA 5-5:
ESQUEMA DIGESTOR TRADICIONAL CON CÚPULA DE POLIETILENO**

5.2.6 Digestor de Alta Velocidad o Flujo Inducido

Este digestor es una variante de los digestores tipo “Chino” e “Indio”, siendo lo característico de este tipo de digestor, que su diseño considera el uso de elementos de agitación mecánica, de modo que se logra el contacto entre el material fresco alimentado con bacterias activas, logrando así, acelerar el proceso de digestión, disminuyendo el tiempo de retención, lo cual se traduce en un menor tamaño de digestor.

Sin embargo, se ha establecido como regla general que el uso de equipos de agitación mecánica es más necesario en plantas grandes que en pequeñas, siendo un método eficiente la agitación con atizador en pequeñas plantas.



Fuente: GTZ-GATE (1999): Biogas Digest Volume II. Biogas: Application and Product Development.

FIGURA 5-6:
ESQUEMA DE UN DIGESTOR CON AGITACIÓN MEDIANTE ATIZADOR

Ventajas

- Menor tiempo de operación.
- Evita formación de costras dentro del digestor.
- Logra la dispersión de materiales inhibitorios.
- Según el sistema de agitación, se puede lograr la disminución de tamaño, logrando una mayor superficie de contacto y aumentando la velocidad de digestión.
- Logra temperaturas más homogéneas.

Desventaja

- Agitadores mecánicos requieren de mantención y tienen una vida útil de 15 años.

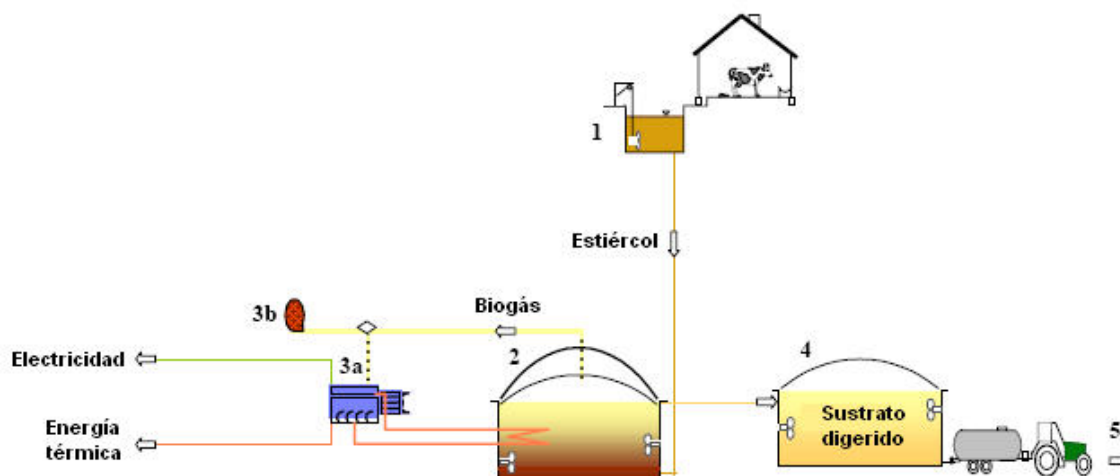
5.2.7 Instalaciones Industriales

Las instalaciones industriales de biogás emplean tanques de hormigón armado o acero inoxidable. Algunas almacenan el gas en el mismo tanque de fermentación y otras en tanques adicionales. Generalmente hacen uso de tres tanques, uno que sirve de acopio, uno para el proceso de digestión, y otro para el almacenamiento del material digerido, del cual también se capta el biogás que se sigue generando en menor cantidad.

Estas plantas suelen ser automatizadas, de modo que utilizan sistemas de bombeo para el desplazamiento del sustrato a digerir a cada tanque, sistemas de agitación y calefacción, y sistemas de instrumentación y control para los diversos parámetros de proceso.

El biogás obtenido se utiliza generalmente para la generación de energía térmica y eléctrica a través de sistemas de cogeneración (Combined Heat and Power Systems, CHP). Estos sistemas constituyen uno de los sistemas más eficientes, presentando eficiencias de recuperación de energía de alrededor de un 30% eléctrico y 60% térmico, es decir, se logra aprovechar alrededor del 90% de la energía alimentada al sistema.

Estas plantas requieren de grandes inversiones y presentan mantenciones intensivas, por lo que son económicamente factibles a gran escala. La factibilidad económica está dada principalmente por el ingreso que constituye la venta o el aprovechamiento de la energía térmica y eléctrica, y en menor grado, del mejorador de suelo que constituye el sustrato digerido.



Proceso:

- 1 Acopio sustrato
- 2 Digestor con acumulación de biogás y remoción de sulfuro de hidrógeno
- 3 Equipos de biogás:
 - 3a: Sistema de cogeneración (CHP)
 - 3b: Antorcha
- 4 Tanque de almacenamiento de sustrato digerido
- 5 Disposición final del sustrato digerido

Fuente: Instituto de Energía y Medio Ambiente (2004): Handreichung Biogasgewinnung und -nutzung

**FIGURA 5-7:
ESQUEMA DE INSTALACIONES INDUSTRIALES**

A continuación se presenta una tabla comparativa con la información de las tecnologías previamente presentadas.

**TABLA 5-1:
COMPARACIÓN DE TECNOLOGÍAS DISPONIBLES**

	Digestor Tipo						
	Chino	Indio	Estructura Flexible	Flotante	Tradicional con Cúpula de PE	Alta Velocidad	Instalaciones Industriales
Vida útil (años)	≥ 20	≥ 15 (5 en zonas costeras tropicales)	2 - 5	2 - 5	2 - 5	Digestor ≥ 20 Agitador ≈ 10	≥ 20 (excepto equipos auxiliares)
Presión biogás	Variable	Constante	Variable (muy baja)	Variable (muy baja)	Sistema de baja presión (100 mm columna de agua)	Según tipo de cúpula	Según planta
Fugas biogás	Común	No, en caso de realizar mantención a la cúpula flotante	No es común	No es común	No es común	Según tipo de cúpula	No es común
Restricción a sustratos	Sin restricción	Sustratos fibrosos suele atascar cúpula flotante (se evita con chaqueta de agua)	Sin restricción	Sin restricción	Sin restricción	Según tipo de cúpula	Sin restricción
Tamaños típicos	> 5 m ³ (Típico en China: 6 - 10)	Típico: 5 - 15 m ³	4 - 100 m ³ (se recomiendan pequeños reactores)	4 - 100 m ³ (se recomiendan pequeños reactores)	4 - 500 m ³	5 - 15 m ³	> 100 m ³

Material de construcción	Cemento; Ferro-cemento; Ladrillos	<u>Digestor:</u> Cemento; Ferro-cemento; Ladrillos <u>Cúpula:</u> acero anticorrosivo	Caucho; RMP (barro rojo de PVC); Poliétileno	Caucho; RMP (barro rojo de PVC); Poliétileno	<u>Digestor:</u> Cemento; Ferro-cemento; Ladrillos <u>Cúpula:</u> PE	Cemento; Ferro-cemento; Ladrillos	<u>Digestor:</u> Hormigón armado o acero inoxidable. <u>Cúpula:</u> generalmente PE, PVC
Mantenición	Baja. No hay partes móviles ni oxidables	Altos requerimientos de mantención de la cúpula (remoción de óxido y pintado regular)	Baja	Baja	Baja	Según tipo de planta. Baja a media	Alta (equipos auxiliares)
Requerimiento de espacio	Muy bajo, generalmente solo la línea de extracción de biogás	Bajo, solamente cúpula flotante	Alto. Zanja de aprox. 2,5 m profundidad y 50 cm de largo por cada m ³ de digestor	Requiere cuerpo de agua	Bajo. Generalmente solo para cúpula de PE	Bajo	Según planta
Ubicación del digestor	Completamente bajo tierra	Digestor bajo tierra (cúpula móvil sobre tierra)	Parcialmente bajo tierra	Parcialmente sumergido en agua	Digestor bajo tierra (cúpula de PE sobre tierra)	Según digestor, totalmente bajo tierra, o cúpula sobre tierra	Según planta
Empleos locales	Si	Si	No	No	Si	Si	Si

Fuente: Elaboración Propia en base a: GTZ-GATE (1999): Biogas Digest Volume II. Biogas: Application and Product Development.

5.3 Tecnologías Disponibles para el Aprovechamiento del Biogás

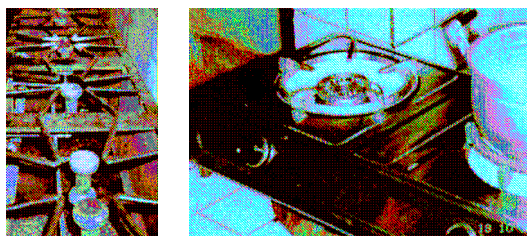
5.3.1 Cocinillas

Las cocinillas a biogás han sido ampliamente utilizadas, existiendo cocinillas simples con uno o dos quemadores, hasta con múltiples quemadores, presentando rendimientos de 50 a 60%. Además, cocinillas a propano y butano han sido modificadas exitosamente para su uso con biogás.

Algunos requisitos básicos que deben cumplir estas cocinillas son:

- Operación simple y sencilla.
- Fácil de limpiar.
- Costos aceptables y fácil de reparar.
- Presentar buenas propiedades de combustión (alta eficiencia y llama constante).
- Apariencia atractiva.

En la práctica se ha determinado que el consumo de biogás por persona y por comida es de 150 a 300 L de biogás. En comparación con otros combustibles, se ha visto que 1 kg de leña puede ser sustituido por 200 L de biogás y 1 kg de carbón por 500 L.



Fuente: GTZ-GATE (1999): Biogas Digest Volume I. Biogas Basics.

**FIGURA 5-8:
IMAGEN DE COCINILLAS A BIOGÁS**

5.3.2 Lámparas

Las lámparas de biogás son lámparas incandescentes, es decir, a través de calor intenso se logra la luminiscencia de metales especiales a temperaturas entre los 1.000 a 2.000°C. Al ser lámparas que liberan calor, son energéticamente ineficientes (eficiencia de 30 a 50%), además de poder causar peligro de incendio si son situados en lugares inapropiados. Por otro lado, pueden ser utilizados como fuente de calor y luz, como por ejemplo en la incubación de huevos.

La luminosidad que se puede obtener con una lámpara de biogás equivale a las que pueden entregar ampolletas convencionales de 25 a 75 W, consumiendo entre 120 a 150 L de biogás por hora.

La mayoría de las lámparas de biogás funcionan a presiones de 50 a 150 mm de columna de agua, presentando perturbaciones a presiones inferiores o superiores.

Estas lámparas han sido ampliamente difundidas en África, Asia y América Latina, principalmente en predios que no tienen acceso a luz.



Fuente: GTZ-GATE (1999): Biogas Digest Volume I. Biogas Basics.

**FIGURA 5-9:
IMAGEN DE UNA LÁMPARA A BIOGÁS**

5.3.3 Calefactores y Calentadores

Los calefactores de luz infrarroja han sido utilizados para la cría del ganado al calefaccionar los establos.

Los calefactores consisten de una cerámica que es calentada entre 600 a 800 °C, a través de la llama de biogás, cuya capacidad térmica, en pequeños calefactores, puede variar entre 1,5 a 10 kW, requiriendo una buena ventilación del establo para evitar excesivas concentraciones de monóxido y dióxido de carbono.

Existen calentadores comerciales para butano, propano y gas natural, los cuales están diseñados para funcionar a presiones de gas entre 30 y 80 mbar, por lo que su uso con biogás no es recomendable sin ser previamente adaptados ya que la baja presión del biogás (bajo los 20 mbar) y su bajo contenido energético no lo hace viable para su uso en estos calefactores comerciales. Otro problema que presentan los calefactores infrarrojos es que son susceptibles a sufrir corrosión por el contenido de hidruro de azufre contenido en el biogás.

En cambio, el uso de sistemas de transmisión de calor indirecto con biogás, a través del calentamiento de agua, ha sido implementado exitosamente.

5.3.4 Refrigeradores

Refrigeradores de absorción que operan con amoníaco como refrigerante y agua como absorbente, que están equipados con sistemas de circulación automatizados, pueden funcionar con biogás como fuente de energía. Según la temperatura ambiental, se puede estimar que 100 l de volumen a refrigerar requieren alrededor de 2.000 L de biogás al día.

La conversión de refrigeradores de absorción para biogás es sencilla, debiendo a que el biogás constituye la única fuente externa de calor, por lo que solamente el quemador debe ser modificado. Además requieren de poca mantención. Sin embargo, la eficiencia de estos equipos es baja, presentando valores entre 20 y 30%.

5.3.5 Motores a Biogás

El uso de motores a biogás es factible económicamente en plantas que generan sobre 10 m³ de biogás al día, debido a que para generar 1 kWh de electricidad con un generador, se requiere alrededor de 1 m³ de biogás. En consecuencia, no es factible alimentar generadores con biogás generado en pequeñas plantas.

Los motores aptos para ser operados con biogás son los siguientes:

- Motor diesel de cuatro tiempos.
- Motor de combustión de cuatro tiempos.
- Motor diesel convertido.
- Motor de combustión convertido.

Estos motores a biogás son aptos para su uso en vehículos como tractores y camionetas, pero a pequeña escala puesto que la compresión del biogás se vuelve económicamente inviable a gran escala.

El rendimiento de estos motores, según tipo, varía entre los 25 a 30%, presentando un alto costo de inversión, con una vida útil corta a mediana, requiriendo mantenciones periódicas e intensivas.

5.3.6 Equipos Combinados (Combined Heat and Power Systems, CHP)

Los equipos combinados generan energía térmica y eléctrica simultáneamente. Estos sistemas están constituidos por un sistema motriz, un generador y un sistema de enfriamiento. El sistema motriz puede ser un motor, una turbina de vapor o gas, o una celda de combustible, sin embargo, el sistema más utilizado para este fin, es el basado en un motor de combustión interna.

El uso de esta tecnología está limitado a plantas medianas a grandes, en las que la energía térmica es aprovechable, debido al alto costo de inversión que constituyen estos equipos.

Estos sistemas existen en el mercado desde los 10 kW de potencia, para lo cual se requieren 100 m³ de biogás purificado (sin hidruro de azufre) al día.

A continuación se presenta una tabla resumen para los posibles usos del biogás, que son independientes del tipo de biodigestor, con la salvedad del tamaño de la planta recomendado.

TABLA 5-2:
TECNOLOGÍAS POSIBLES PARA EL APROVECHAMIENTO DEL BIOGÁS

	Cocinilla	Lámpara	Calefactores	Refrigeradores	Motores	Sistema de Cogeneración
Costo Inversión	Bajo	Bajo	Bajo a medio	Bajo a medio	Alto	Muy Alto
Vida útil (Años)	Alta	Alta	Baja	Media	Según tipo de motor, entre 3.000 - 10.000 horas	Aprox. 10 años
Tamaño planta recomendado	Pequeño	Pequeño	Pequeño	Pequeño a mediano (según volumen a refrigerar)	Mediano a grande. Generación mínima de biogás: 10 m ³ /d	Grande. Generación mínima de biogás: 100 m ³ /d
Eficiencia	50 - 60 %	30 - 50 %	95 - 99 % (Infrarrojo)	20 - 30 %	25 - 30 % (según motor)	80 - 90%
Consumo de biogás	300 - 600 L/h	120 - 150 L/h	150 L/h por kW de potencia	80 L/h por cada 100 L de volumen a refrigerar	0,5 m ³ /kWh	0,5 m ³ /kWh
Mantenimiento	Baja	Baja	Alta (H ₂ S)	Baja	Alta	Alta
Complejidad de la tecnología	Baja, tanto en la implementación como en el uso	Baja, tanto en la implementación como en el uso	Instalación compleja	Baja, tanto en la implementación como en el uso	Complejo	Complejo
Grado de implementación	Ampliamente implementado en Asia, África y América Latina				Ampliamente implementado en países europeos (Alemania, Suecia, Austria, entre otros)	

Fuente: Elaboración Propia en base a: GTZ-GATE (1999): Biogas Digest Volume I. Biogas Basics.

5.4 Evaluación de Paquetes Tecnológicos Pertinentes

Se identificarán tres de las tecnologías previamente expuestas de biodigestión en base a su aplicabilidad en predios de pequeños productores lecheros, sin embargo, cabe mencionar nuevamente, que la selección y el diseño de un biodigestor se debe ajustar a las condiciones locales de cada predio.

Los criterios para la selección serán:

- **Aislamiento térmico:** El área de interés presenta temperaturas bajo los 15°C, temperatura mínima requerida para la digestión anaerobia. Los sistemas de calentamiento son caros y requieren de mantención intensiva, por lo que su aplicación no es factible en pequeñas plantas. En consecuencia, se recomienda situar el digestor bajo tierra de modo que estos queden aislados, siendo posible incluso, en algunos casos, situarlos bajo del establo. Esto, si bien, disminuye la generación de biogás en verano, se logra una generación constante de biogás durante el año.
- **Requerimiento de espacio:** Para mejorar la generación de biogás a bajas temperaturas, se recomienda aumentar el tiempo de retención, lo cual implica un mayor tamaño de digestor lo cual repercute en los costos de inversión. Sin embargo, se ha visto que un digestor de tipo chino un 50% más grande cuesta solo 10% más, además de servir para amortiguar sedimentos, variaciones de pH y aumenta la capacidad para almacenar el biogás. Luego, al tratar con digestores de gran tamaño, se recomienda el uso de tecnologías bajo tierra.
- **Costo de inversión:** Este es el factor más importante dado que se trata de biodigestores aplicables en pequeños predios lecheros, por lo que la factibilidad económica es un factor decisivo.
- **Vida útil:** La vida útil de los biodigestores es otro factor importante a considerar el cual, junto al costo de inversión, darán la factibilidad del proyecto.
- **Mantención:** Principalmente por seguridad en la operación es importante la mantención. Si bien no es un factor decisivo, es importante considerarlo puesto que tiene un costo asociado y puede afectar el funcionamiento de la planta.

De la tabla que sigue, se desprende lo siguiente:

Las tecnologías correspondientes al digestor flotante y al industrial quedarán descartadas debido a que el primero requiere de un cuerpo de agua y está además limitado por las bajas temperaturas en la zona de interés, y el segundo es factible solamente a gran escala.

El digestor de alta velocidad se caracteriza por poseer un dispositivo de agitación, el cual podría ser implementado en las otras tecnologías (a excepción del digestor de estructura flexible y flotante), por lo que no se seleccionará como una tecnología pertinente como tal.

El digestor tipo “Indio”, si bien presenta diversas ventajas, no se considerará debido al mayor costo de inversión y mayor requerimiento de mantención.

**TABLA 5-3:
CRITERIOS DE EVALUACIÓN DE TECNOLOGÍAS PERTINENTES**

	Digestor Tipo						
	Chino	Indio	Estructura Flexible	Flotante	Tradicional con Cúpula de PE	Alta Velocidad	Instalaciones Industriales
Aislamiento térmico	Alto	Medio	Bajo	Bajo	Medio	Medio - Alto	Según planta
Requerimiento de espacio	Bajo	Bajo	Alto	Alto, y requiere cuerpo de agua	Bajo	Bajo	Según planta
Costo inversión	Bajo - Medio	Mayor que digestor tipo Chino (por cúpula flotante)	Bajo	Bajo	30% menor que el chino	Según tipo de planta y equipo de agitación. Bajo - Medio	Alto
Vida útil (Años)	≥ 20	≥ 15 (5 en zonas costeras tropicales)	2 a 5	2 a 5	Digestor ≥ 20 Cúpula ≈ 5	Digestor ≥ 20 Agitador ≈ 10	≥ 20 (excepto equipos auxiliares)
Mantención	Baja	Alta (cúpula móvil)	Baja	Baja	Baja	Baja - Media Según tipo de planta.	Alta (equipos auxiliares)

Fuente: Elaboración Propia

El digestor tipo "Chino" cumple con los factores previamente expuesto por lo que es seleccionado como una de las tres tecnologías pertinentes. El digestor tradicional con cúpula de polietileno también cumple con los factores establecidos, siendo la única desventaja el aislamiento térmico medio debido a la cúpula de polietileno, la cual no podrá quedar bajo tierra, generando un punto de pérdida de calor. Y por último, se selecciona el digestor de estructura flexible debido a la gran ventaja que presenta el bajo costo de inversión, a pesar de su corta vida útil.

A continuación se presenta una tabla resumen de las diversas propiedades de las tecnologías pertinentes, pudiendo encontrarse una descripción de cada una en los capítulos anteriores.

TABLA 5-4:
PROPIEDADES DE LAS TECNOLOGÍAS PERTINENTES

	Digestor Tipo		
	Chino	Tradicional con Cúpula de PE	Flexible
Descripción	Continuo; mezclado; almacenamiento de biogás integrado	Continuo; mezclado; fosa como digestor y cúpula de polietileno como almacenamiento de biogás	Continuo; tipo canal de fermentación; almacenamiento de biogás integrado
Tipo de sustrato	Excremento animal y residuos vegetales	Solo excremento animal	Solo excremento animal
Requerimiento de espacio	Bajo	Bajo	Alto
Ventajas	Bajo costo de construcción; Vida útil larga; Buen aislamiento	Muy bajo costo; Fácil de operar	Existencia de construcciones prefabricadas; Fácil de operar
Desventajas	Compleja impermeabilización del domo de biogás; Presión de biogás variable	Requiere suelos impermeables; Vida útil corta	Vida útil corta, Baja presión de biogás
Eficiencia para excremento bovino (m³ biogás/m³ digestor)	0,2 – 0,5	0,1 - 0,5	0,3 - 0,8
Costo aproximado de materiales (\$/m³ de digestor)	75.000 - 160.000	60.000 – 120.000	60.000 – 250.000
Costo específico total en Chile "llave en mano" (\$/m³ de digestor)	150.000 - 350.000	sin información	sin información

Fuente: Elaboración Propia en base a: Werner, U.; Stöhr, U.; Hees, N. (1989): Biogas plants in animal husbandry, GTZ-GATE

5.5 Exigencias al Manejo de Purines con Biodigestores

A continuación se presentan unas exigencias al manejo de los purines con biodigestores, en concordancia con recomendaciones⁴ y normativas de los organismos competentes.

5.5.1 Ordenamiento Predial

En el diseño de las instalaciones de una explotación lechera (salas de ordeña, patios de alimentación y distribución, etc.), es fundamental considerar el potencial de producción de purines del establecimiento. Al respecto, se recomienda:

- Ubicar los patios de alimentación, de distribución y salas de ordeña en zonas altas dentro de la explotación, de forma de facilitar la movilización de purines hacia la zona de almacenamiento o canales de distribución internos del predio para fertilización por transporte directo.
- Emplazar las instalaciones de acopio de purines (piscinas o lagunas, pozos purineros, biodigestores), a una distancia de alrededor de 20 metros respecto a quebradas, cursos o cuerpos de agua superficiales naturales y artificiales, y construir obras de contención que impidan, en caso de rebalses, escurrimiento de purines hacia dichos cuerpos de agua.
- Considerar en el diseño de los pisos una pendiente de alrededor del 3 al 4%, y en fosos y otros sistemas de conducción de purines, una pendiente del 5%, para facilitar el escurrimiento de los purines.
- Construcción de sistemas de intercepción, conducción y evacuación de aguas lluvias, que impidan su escurrimiento hacia los corrales, salas de ordeña, instalaciones de acumulación de purines (piscinas o lagunas, pozos purineros, biodigestores), y sitios de acopio del estiércol. Instalar canaletas en la totalidad de los techos de las instalaciones, o de fosos u otros sistemas de desvío de precipitaciones.

5.5.2 Manejo de Purines en la Sala de Ordeña y Corrales

- Realizar un primer barrido en seco, manual o mecánico, de corrales y salas de ordeña, y posteriormente usar un sistema de lavado con agua a alta presión y bajo caudal. Con esta medida se busca minimizar el ingreso de aguas limpias al sistema.
- En el caso de corrales con piso de concreto, se recomienda realizar dos limpiezas por día.
- Cuando se trate de corrales con piso de tierra, se recomienda retirar el estiércol periódicamente. Si existiese riesgo de escurrimientos hacia cursos de agua superficial, el retiro debe ser previo a la época de lluvias.
- Reutilizar el agua proveniente del lavado del sistema de enfriamiento de leche.
- Se debe mantener un control estricto en el uso de detergentes y desinfectantes en el lavado de la sala de ordeña, usando las dosis recomendadas por los fabricantes. Si llegan en exceso al biodigestor pueden dañar los microorganismos y disminuir la producción de biogás. Se debe dar preferencia a productos biodegradables.
- Desviar las aguas lluvia a través de canaletas, práctica que cobra gran relevancia en las explotaciones del sur del país.
- Mantener en óptimas condiciones las cañerías e instalaciones del sistema de lavado a fin de evitar pérdidas de agua.
- Evitar mantener mangueras con agua corriendo.

⁴ Comisión Nacional de Buenas Prácticas (2003); INDAP/SITEC (sin año); INTEC, SISS, SESMA, SAG; CORFO (2001); SISS, MINAGRI (2006).

5.5.3 Instalación del Biodigestor

- Implementar un sistema de impermeabilización del biodigestor para evitar infiltraciones, considerando el tipo de suelo y características del sector en que éstos se ubiquen.
- El biodigestor debe estar aislado del suelo por una superficie impermeable natural o artificial, de modo que no existan infiltraciones ni lixiviación a recursos hídricos subterráneos y/o superficiales.
- El fondo del biodigestor debe encontrarse a una distancia mínima de 1,5 metros de la napa.
- El biodigestor debe ubicarse a una distancia mínima de 20 m, de quebradas, líneas de drenaje y cursos de agua.
- Desviar precipitaciones, a través de canales o zanjas, para evitar su ingreso al biodigestor.
- Utilizar rejillas en los fosos o canales que conducen los purines al pozo, de forma de evitar el ingreso de materiales no deseados como trozos de madera, alambres, piedras, arena, etc.
- Disponer de infraestructura necesaria, como lagunas o piscinas impermeabilizadas, para la acumulación del efluente tratado en la época en que no es posible aplicarlos al suelo.
- La capacidad de almacenamiento debe estar calculada en general para soportar la producción de purines en épocas en que no es recomendable su uso como abono orgánico.

5.5.4 Aplicación del Efluente Tratado al Suelo

Al respecto, se recomienda el siguiente manejo:

- Realizar un análisis químico del contenido de nitrógeno del efluente tratado y del suelo en que será aplicado, y de acuerdo a las necesidades del cultivo, calcular la dosis de aplicación.
- Realizar la aplicación cuando las condiciones del suelo y climáticas lo permitan, no aplicar en épocas de lluvia intensa o cuando existan riesgos de saturación del suelo.
- Utilizar un sistema y tasa de aplicación del efluente tratado que permita su distribución en el suelo en forma homogénea.
- Evitar la aplicación de purines al atardecer o durante la noche ya que si existiese alguna falla en el sistema de aplicación sería difícil detectarla.
- No aplicar purines o efluente tratado en suelos con una pendiente mayor al 15%.
- En las aplicaciones de efluente tratado dejar una franja de protección no menor de 3 m de quebradas y de cuerpos y cursos de aguas naturales y artificiales.
- No aplicar efluente tratado en suelos con inundación frecuente y en suelos donde se puedan producir apozamientos.
- No aplicar efluente tratado en cultivos de frutas y hortalizas que se desarrollan a ras de suelo y que habitualmente se consumen en estado crudo.
- El efluente no debe ser descargado directamente, sin un manejo previo o tratamiento, a canales y cursos de agua superficial, dando cumplimiento a las normas vigentes.

6 DISEÑO DE BIODIGESTORES A NIVEL DE INGENIERÍA CONCEPTUAL

En el presente capítulo se desarrolla el diseño de los biodigestores a nivel de ingeniería conceptual para los tres tamaños propuestos. En específico se entrega lo siguiente:

- Memoria descriptiva.
- Memoria de cálculo.
- Especificaciones técnicas.
- Diagrama de flujo.
- Planos.
- Estimación del consumo de los insumos principales.

Luego se efectúa una estimación de costos, acorde al nivel de ingeniería conceptual y basándose en valores y costos de unidades disponibles en Ingeniería Alemana, para la evaluación técnico-económica.

Como base para el diseño de los biodigestores, se seleccionaron los siguientes tamaños de reactores para los diferentes tamaños de plantas, estableciéndose un tiempo de retención de 100 días para sustrato diluido:

- Biodigestor 1: 5 m³
- Biodigestor 2: 10 m³
- Biodigestor 3: 15 m³

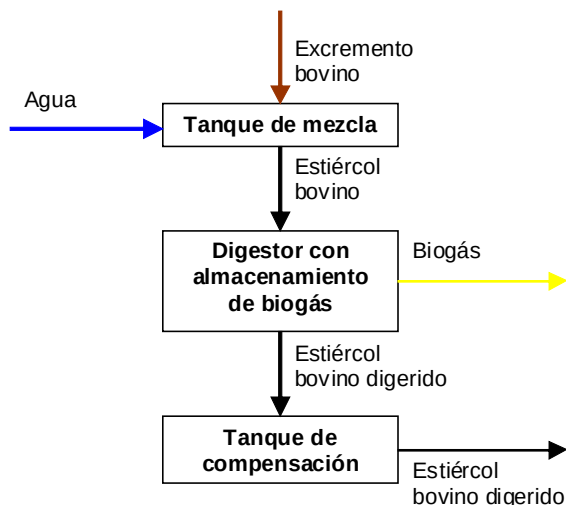
6.1 Memoria Descriptiva

El sustrato a digerir se mezcla con agua en un tanque de alimentación, del cual fluye la mezcla directamente al digestor, en el cual se genera biogás a través de la fermentación causada por las bacterias presentes en el sustrato.

El biogás es colectado y almacenado hasta ser utilizado en la cúpula del digestor, siendo transportado a su lugar de consumo mediante cañerías, las cuales deben ser provistas con una trampa de agua (purgador de condensado) para remover el agua condensada en las cañerías.

Las partes de una planta de biogás son:

- Tanque de acopio/mezcla.
- Alimentación y descarga del digestor.
- Digestor.
- Almacenamiento de biogás.
- Cañerías de biogás, válvulas y accesorios.
- Remoción de sulfuro de hidrógeno.
- Purgador de condensado.



Fuente: Elaboración Propia

**FIGURA 6-1:
DIAGRAMA DE FLUJO**

6.1.1 Tanque de Acopio

En plantas simples de pequeña escala, se debe requerir la menor cantidad de tiempo posible para la recuperación del sustrato y su preparación para la fermentación, siendo el mayor problema la presencia de materiales extraños (piedra, restos de forraje, etc).

El sustrato se suele coleccionar en un tanque de acopio, también denominado tanque de mezcla, en el cual el sustrato es mezclado con agua. El tanque debe tener la capacidad suficiente para almacenar la generación diaria de sustrato correspondiente entre un día y medio a dos días y presentar una forma cilíndrica, con una relación diámetro/altura de 2/1.

Los materiales fibrosos presentes en el sustrato se remueven de la superficie de la mezcla, mientras que piedras y arena precipitan al fondo del tanque siendo removidas una vez vaciado el tanque de acopio.

El tanque debería situarse cerca del digestor, idealmente en un lugar soleado, de modo que no se genere un choque térmico en el digestor debido al agua fría de mezcla.

6.1.2 Alimentación y Descarga

La inclinación de las cañerías de alimentación y de descarga del digestor debe ir en ángulo agudo y poseer un diámetro de 10 a 15 cm para el caso de sustratos líquidos, y de 20 a 30 cm para sustratos fibrosos, siendo preferentemente de plástico o concreto. Las cañerías deben ser fácilmente accesibles para remediar posibles obstrucciones, además de poder introducir elementos de agitación.

Las cañerías deben penetrar la pared del digestor bajo el nivel mínimo de líquido y no a la altura del almacenamiento del biogás. La cañería de alimentación del digestor termina a mayor altura que la de salida hacia el tanque de compensación, en orden de lograr una mejor distribución del sustrato.

En un digestor de domo fijo, la posición de la cañería de alimentación define el límite del almacenamiento de biogás, de modo que sirve de válvula de seguridad para sobrepresiones.

6.1.3 Digestor

El digestor, además de ser apropiado para el tipo de sustrato y la actividad bacteriana, debe cumplir con los siguientes requerimientos:

- Resistencia a fuerzas estáticas.
- Impermeable a gases y líquidos.
- Durabilidad y resistencia a corrosión.

Generalmente, los digestores son de concreto o ladrillo, materiales que son adecuadamente resistentes a presiones pero susceptibles a quiebres.

Las fuerzas que actúan sobre el digestor son fuerzas compresivas externas, causada por la tierra situada sobre el digestor, y fuerzas elásticas internas, causadas por la presión hidrostática del líquido y la presión del gas. Estas fuerzas deben ser equilibradas, es decir, la presión externa debe ser en todos los puntos mayor a las fuerzas internas.

Digestores redondos y esféricos son aptos para aceptar grandes fuerzas de manera uniforme por lo que se recomiendan digestores de forma cilíndrica con domo los cuales presentan:

- Menor costo, construcción basada en el ahorro de materiales y su grosor.
- Una buena relación volumen/superficie.
- Mejor estabilidad a pesar de construcción simple.

La fundación del domo debe ser capaz de contener las cargas máximas, puesto que fisuras podrán expandirse por todo el domo.

6.1.4 Almacenamiento de Biogás

El domo de un biodigestor tipo "Chino" es semiesférico con un radio constante en el cual se almacena el biogás generado, el cual es capaz de desplazar cierta cantidad de sustrato. Para su diseño se debe considerar:

- Un sistema de rebalse para evitar inundaciones de la planta.
- La altura del rebalse debe situarse 10 cm bajo el nivel de extracción del biogás.
- La impermeabilización del domo con pinturas apropiadas (por ejemplo: bitumen).

La capacidad de almacenamiento del biogás dependerá del factor de generación de biogás y su frecuencia de consumo, recomendándose entre un 40 a 60% de la generación de biogás diaria. Sin embargo, la razón del volumen del digestor/volumen de almacenamiento de biogás es un parámetro fundamental en el diseño de este tipo de planta, conociéndose razones entre 3:1 a 10:1, siendo las típicas 5:1 y 6:1.

6.1.5 Cañerías de Biogás, Válvulas y Accesorios

El sistema de cañerías conecta la planta de biogás con los equipos que lo consumirán. Éste debe ser seguro, económico y deberá permitir un flujo de biogás apto para el equipo que lo consumirá.

Las cañerías de biogás más usadas son:

- Cañerías de PVC.
- Cañerías de acero galvanizado (cañerías de agua).
- Mangueras de plástico.

Las cañerías y fittings de PVC presentan un costo relativamente bajo, existen de diferentes calidades y son fácilmente instalables. Sin embargo, son susceptibles a radiaciones UV y a daños físicos, por lo que deben ser situados bajo tierra.

Las cañerías de acero galvanizado son fiables y duraderas por lo que presentan una buena alternativa frente a las de PVC pero presentan un mayor costo y su instalación es más laboriosa.

El diámetro necesario de las cañerías que transportarán el biogás dependerá del flujo de biogás requerido y la distancia que tendrá que recorrer. A mayor distancia y flujo de biogás, mayor será la pérdida de presión por roce, lo cual se incrementa a través de los fittings

La instalación de cañerías de biogás debe considerar: la impermeabilización a fugas de gas; el drenaje de agua a través de trampas de agua en el punto más bajo, y la protección contra daños mecánicos.

Las válvulas para la desconexión del paso de gas deben ser de tipo bola, impermeables al paso de gas. Válvulas utilizadas comúnmente en sistemas de agua, como de compuerta, son condicionalmente aceptables puesto que deben ser chequeadas con respecto a su impermeabilidad al paso del gas.

Otro elemento necesario es un manómetro de gas, el cual puede ser un manómetro tipo U que es simple de elaborar y cumple con los requerimientos de una planta de biogás tipo “Chino”.

6.1.6 Remoción de Sulfuro de Hidrógeno

El sulfuro de hidrógeno contenido en el biogás, junto a la humedad de éste gas, puede generar un ácido corrosivo, el cual es nocivo para ciertos equipos como calentadores de agua, motores o refrigeradores. Por lo tanto, la reducción del sulfuro de hidrógeno se hace necesaria cuando el biogás presenta sobre 2% en volumen de este compuesto. Sin embargo, el biogás contiene generalmente menos de 1% de este compuesto por lo que comúnmente la desulfuración no es necesaria.

Se han implementado diversas formas para lograr la remoción de este compuesto, siendo el más común en pequeñas y medianas plantas, el proceso de absorción vía masas ferrosas, en forma de óxidos, oxihidratos e hidróxidos de hierro. Estas masas se regeneran al entrar en contacto con aire por lo que podrán ser usados nuevamente.

La capacidad absorbente de esta masa depende de la cantidad de hierro que contengan. Una masa que contiene entre 5 a 10% de hidróxido de hierro puede absorber 15 g de sulfuro por kilo sin ser regenerada, pudiendo remover hasta 150 g de sulfuro al ser regenerada.

6.1.7 Purgador de Condensado

El biogás que se produce en el digestor es un gas saturado en vapor de agua, además de presentar sulfuro de hidrógeno (H_2S) y dióxido de carbono (CO_2). El gas al ser transportado en las cañerías se enfría a temperatura ambiente y se condensa el agua contenido en él, haciendo necesario el uso de un purgador de condensado.

Los purgadores de condensado se sitúan al inicio del circuito de gas, en la parte más baja, y consta de un recipiente en el cual se deposita el agua condensada, permitiendo el paso del gas.

6.2 Memoria de Cálculo

Tanque de acopio/mezcla:

$$VTA = 2 \times Sd$$

VTA: Volumen tanque de acopio, m^3

Sd: Sustrato alimentado diariamente a 8% de sólidos totales, m^3/d

Volumen digestor:

$$Vd = Sd \times RT$$

Vd: Volumen digestor, m^3

Sd: Sustrato alimentado diariamente a 8% de sólidos totales, m^3/d

RT: Tiempo de retención, 100 d

Sustrato alimentado:

$$Sd = B + W$$

Sd: Sustrato alimentado diariamente a 8% de sólidos totales, m^3/d

B: Biomasa alimentada, m^3/d

W: Agua de dilución, m^3/d

Generación de biogás diaria:

$$G = VS \times Gy$$

G: Generación diaria de biogás, L/d

VS: Sólidos volátiles alimentados diariamente, kg/d

Gy: Generación específica de biogás, 250 (L/kg)

Carga orgánica:

$$Ldt = VS / Vd$$

Ldt: Carga orgánica, kg/m³/d

VS: Sólidos volátiles alimentados diariamente, kg/d

Vd: Volumen digestor, m³

Almacenamiento de biogás:

Se selecciona una relación volumen de digestor/volumen de almacenamiento de biogás de 6/1.

$$Vd / Vg = 6 / 1$$

Vd: Volumen digestor, m³

Vg: Volumen de almacenamiento de biogás, m³

Remoción de sulfuro de hidrógeno:

Se asume un contenido de sulfuro de hidrógeno en el biogás de 1% en volumen, presentando una densidad de 1,47 g/L a las condiciones del proceso (presión atmosférica y a 10 °C). Luego, la masa de hierro necesaria (con contenido entre 5 a 10 % de hidróxido férrico), la cual remueve 150 g de H₂S/kg de masa ferrosa, se determina según la siguiente ecuación:

$$mfe = (0,01 \times G \times 1,47) / 150$$

mfe: Masa de hierro requerida, kg/d

G: Generación diaria de biogás, L/d

Purgador de condensado:

La producción específica de agua en biogás se puede determinar a través de la ley de gases ideales, considerando que el biogás se encuentra saturado de vapor de agua. La presión de vapor del agua a la temperatura de operación (10°C) es de $1,21 \times 10^{-2}$ atm, y el peso molecular del agua es de 18 g/mol. A estas condiciones se obtiene un valor de $9,39 \times 10^{-3}$ g agua/m³ biogás. Este valor representa la máxima cantidad de agua que puede arrastrar el biogás a la salida del digestor, la cual debe ser purgada.

$$P = pea \times G / \rho$$

P: Agua de salida del purgador de condensado, g/d

pea: Producción específica de agua en biogás, $9,39 \times 10^{-3}$ (g agua/L biogás)

G: Generación diaria de biogás, L/d

ρ : Densidad del agua, 1.000 (g/L)

6.3 Especificaciones Técnicas

Los materiales recomendados para la construcción de los diversos tanques son hormigón armado o ladrillos, de acuerdo las condiciones particulares de cada sitio.

Tanque de acopio/mezcla:

- Tanque de forma cilíndrica con una relación diámetro/altura de 2/1.
- Grosor de pared laterales de 5 cm.
- Grosor de la base de 10 cm.

Digestor:

- Tanque con fondo cónico y superficie semi-esférica.
- Grosor de paredes laterales de 8 cm.
- Grosor de la base de 10 cm en el centro, aumentando a 20 cm hacia el exterior.

Tanque de compensación:

- Tanque de fondo cónico y superficie semi-esférica.
- Grosor paredes laterales de 6 cm.
- Grosor de la base de 5 cm en el centro, aumentando a 10 cm hacia el exterior.

Cañerías:

- Alimentación del digestor: de concreto o PVC con diámetro de 15 cm.
- Altura de alimentación del digestor: bajo el nivel mínimo de líquido.
- Descarga del digestor al tanque de compensación: de concreto o PVC con diámetro de 10 cm.
- Altura descarga desde el digestor al tanque de compensación: bajo el nivel de alimentación del digestor.
- Altura de descarga de estiércol digerido, desde el tanque de compensación: 10 cm sobre el nivel de extracción de biogás.

Relaciones que se deben cumplir en el diseño de la planta:

**TABLA 6-1:
RELACIONES DE DISEÑO**

Parámetro	Relación
R: Radio digestor	$(0,74 \times V_d)^{1/3}$
r: Radio tanque de compensación	0,49 R
h: altura de entrada alimentación	0,37 R
p: altura desde el nivel mínimo de líquido hasta tope del almacenamiento de biogás	0,59 R

Fuente: Elaboración Propia

Mantenimiento y reparación de la planta:

La mantención de la planta incluye todo el trabajo e inspección necesaria para un buen funcionamiento del proceso, las cuales se dividen en:

Actividades diarias:

- Llenado del digestor.
- Limpieza del tanque de acopio.
- Agitación del contenido del digestor.
- Chequeo de la presión del biogás.
- Chequeo del contenido del almacenamiento de gas.
- Chequeo del olor y apariencia del sustrato digerido.

Actividades mensuales:

- Remoción y uso del sustrato digerido (según capacidad del tanque de compensación).
- Limpiar e inspeccionar los equipos que consumen el biogás.
- Chequear la línea de biogás por fugas.
- Remover agua del purgador del condensado.

Actividades anuales:

- Inspeccionar la planta por fugas de agua y gas.
- Chequear la línea de biogás a resistencia de presión.

Medidas de reparación se hacen necesarias en casos de malfuncionamiento grave, indicado por el monitoreo rutinario. Las reparaciones que excedan el trabajo simple de mantención deben ser realizadas por personas capacitadas.

6.4 Planos

En las Figuras A-1 a A-3 se presentan planos de planta y los cortes principales para los tres biodigestores.

6.5 Estimación del Consumo de los Insumos Principales

Las plantas pequeñas a medianas, que generan biogás a partir de estiércol bovino, generalmente, no requieren de insumos para la estabilización del proceso, por lo que requieren, a pesar del sustrato, agua de dilución.

Según el uso que se le dará al biogás, se requerirán insumos para la mantención de equipos que lo consumirán, como en el caso de motores que requieren cambios periódicos de aceite.

Para efectos del estudio, en el cual el biogás será utilizado para el calentamiento de agua, se considera como único insumo el agua de dilución, que se debe agregar en la razón adecuada para mantener una concentración de sólidos totales de 8% en el biodigestor.

6.6 Resultados del Diseño

TABLA 6-2:
RESULTADOS DE DISEÑO - TANQUE DE ACOPIO

Volumen Digestor (m ³)	Volumen Tanque Acopio (m ³)	Radio (m)
5	0,1	0,32
10	0,2	0,40
15	0,3	0,46

Fuente: Elaboración Propia

TABLA 6-3:
RESULTADOS DE DISEÑO - DIGESTOR

Volumen Digestor (m ³)	Sustrato Alimentado (m ³ /d)	Biomasa (m ³ /d)	Generación Biogás (L/d)	Carga Orgánica (kg/m ³ /d)	Volumen Almacenamiento Biogás (m ³)
5	0,05	0,025	830	0,65	0,83
10	0,10	0,050	1.670	0,65	1,67
15	0,15	0,075	2.500	0,65	2,50

Fuente: Elaboración Propia

TABLA 6-4:
RESULTADOS DE DISEÑO - ALMACENAMIENTO DE BIOGÁS

Volumen Digestor (m ³)	R (m)	r (m)	h (m)	p (m)
5	1,55	0,76	0,57	0,91
10	1,95	0,96	0,72	1,15
15	2,23	1,09	0,83	1,32

Fuente: Elaboración Propia

TABLA 6-5:
RESULTADOS DE DISEÑO - VOLÚMENES Y ALTURAS DE DISEÑO

Volumen Digestor (m ³)	Volumen Total Digestor (m ³)	Altura Máx. de Sustrato en Digestor (m)	Volumen Desplazamiento (m ³)	Volumen Total Tanque Compensación (m ³)
5	5,81	0,434	0,56	1,03
10	11,62	0,548	1,12	2,05
15	17,44	0,628	1,69	3,08

Fuente: Elaboración Propia

**TABLA 6-6:
RESULTADOS DE DISEÑO - PURGADOR DE CONDENSADO**

Volumen Digestor (m³)	Purga de Agua (L/mes)
5	0,23
10	0,46
15	0,69

Fuente: Elaboración Propia

**TABLA 6-7:
RESULTADOS DE DISEÑO - SUPERFICIE REQUERIDA**

Volumen Digestor (m³)	Tanque Acopio (m²)	Digestor (m²)	Tanque Compensación (m²)	Total (m²)
5	2,26	27,10	6,31	35,66
10	3,44	41,25	9,71	54,40
15	4,38	52,97	12,46	69,81

Fuente: Elaboración Propia

7 IDENTIFICACIÓN Y VALORIZACIÓN DE EXTERNALIDADES

El estiércol de vacuno o purines de vacuno corresponde a la mezcla producida por las excretas y orina de animales y agua utilizada para el lavado de las instalaciones del plantel. Estos residuos presentan una alta biodegradabilidad. Los purines se caracterizan por:

- Un alto contenido de materia orgánica y sólidos suspendidos.
- Un alto contenido de nutrientes como nitrógeno y fósforo.
- La presencia de minerales como cobre y zinc.
- Un alto contenido de microorganismos patógenos de origen fecal.

Estas características dificultan la disposición directa de los purines al medio ambiente, por ejemplo si se disponen directamente en cursos de agua, debido al alto contenido de materia orgánica y de nutrientes se expone a reducir el oxígeno disuelto en el agua pudiendo provocar eutrofización de las aguas. La disposición directa de los purines al terreno origina problemas de olores, atracción de vectores y presencia de microorganismos patógenos, que al ser de origen fecal, se presentan fundamentalmente bacterias, hongos y actinomicetos, o bien provocan la sobrefertilización de los terrenos.

Las propiedades del estiércol digerido dependen de una serie de factores, siendo los principales la composición del sustrato fresco (estiércol) y los niveles de los parámetros del proceso fermentativo. A continuación se presentan las propiedades beneficiosas del sustrato digerido que se obtienen mediante la degradación biológica del estiércol bovino, identificando y valorizando conceptualmente las siguientes externalidades:

- Aumento de la Disponibilidad de Nutrientes.
- Reducción de Olores.
- Higienización.
- Eliminación de Maleza.
- Homogenización.

Adicionalmente, el gas generado en los biodigestores podrá ser aprovechado energéticamente, por lo cual su conversión genera las siguientes externalidades:

- Ahorros de Combustible/Reducción de Deforestación.
- Reducción de Gases Efecto Invernadero.

Finalmente, también se han identificado las siguientes externalidades:

- Cumplimiento de la Normativa Ambiental.
- Generación de Empleo Rural.

7.1 Aumento de la Disponibilidad de Nutrientes

El porcentaje de degradación de la materia orgánica que se obtiene mediante el proceso digestivo es influenciado por diversos parámetros del proceso (temperatura del proceso, factor de carga y tiempo de retención hidráulico, entre otros). Sin embargo, nunca se llega a degradar el 100% de la materia orgánica presente en el sustrato fresco, razón por la cual el sustrato

digerido seguirá portando nutrientes los cuales podrán ser aprovechados para la fertilización de cultivos y praderas.

Todos los nutrientes esenciales para el crecimiento de plantas, como el nitrógeno, fósforo, potasio y magnesio, se preservan durante el proceso digestivo, a excepción del azufre, del cual una parte se incluye en el biogás. Además, la relación carbono/nitrógeno disminuye por la transformación del carbono, lo que se traduce en una mejora del efecto fertilizante del estiércol.

Con respecto al nitrógeno presente en el estiércol fresco (sin degradar), alrededor del 75% se encuentra en forma orgánica, la cual no es directamente asimilable por las plantas, y el 25% restante se encuentra en forma inorgánica como amonio. Este nutriente, es uno de los elementos más dinámicos que se conocen, debido a su rápida transformación química y bioquímica en el suelo, influenciada por la temperatura y el oxígeno, los cuales facilitan la reacción de oxidación y la posterior contaminación por nitratos.

Durante el proceso digestivo, el nitrógeno orgánico disminuye al ser transformado a sus formas inorgánicas, siendo la pérdida por volatilidad del nitrógeno amoniacal despreciable. Tras la mineralización del nitrógeno, éste nutriente será mejor asimilado por las plantas, aumentando su disponibilidad, y evitando los efectos negativos sobre el medio ambiente.

TABLA 7-1:
COMPARACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD DE NITRÓGENO ENTRE ESTIÉRCOL BOVINO

	Estiércol Bovino Fresco	Estiércol Bovino Digerido
Sólidos totales	10,0%	6,8%
Sólidos volátiles	7,4%	4,7%
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): Biogas Praxis

A través de la reducción de sólidos volátiles que se obtiene mediante un proceso de digestión estable, el efluente se vuelve menos viscoso por lo que se obtiene una mezcla más homogénea, la cuál podrá ser dispuesta uniformemente en el campo.

El aumento en la productividad agrícola, por la sustitución de fertilizantes por el sustrato digerido, debe ser tomado en cuenta. Se han reportado aumentos en la productividad, de entre 6 a 10%, hasta sobre 20%, variando de planta a planta, por lo que se debe incentivar que los agricultores registren sus productividades antes y después del uso de biodigestores.

FAO (1992) cita estudios de Gunnerson y Stuckey (1986), que indican un "Índice de Eficacia de Nitrógeno", dependiendo del tratamiento que se da al purín previa su aplicación al suelo. Este índice tiene el mismo valor para el efluente de un biodigestor como para un purín apilado durante dos días, por lo cual el efecto comparativo de un biodigestor (situación "con proyecto") respecto la situación "sin proyecto" sería despreciable.

En Chile, el uso de fertilizantes en pequeños productores puede variar considerablemente y es fuertemente influenciado por el precio de éstos, tal como se ha podido observar durante el año 2008. Por regla general, mientras mas pequeños utilizan menos fertilización (ej. por el precio alcanzado en el 2008, algunos los mas pequeños no fertilizaron).

Como valor referencial se estima que un agricultor pequeño, en condiciones normales, fertiliza la mitad de sus praderas con unos 300 a 350 kilos de fertilizante por hectárea al año (200 kilos de nitromag o urea, 100 kilos de superfosfato triple, 50 kilos de muriato de potasio), por tanto se obtienen las cantidades y precios que se señalan a continuación.

TABLA 7-2:
USO DE FERTILIZANTES EN PEQUEÑOS PRODUCTORES

Producto	Cantidad bruta (kg/ha)	Contenido Activo	Cantidad neta (kg/ha)	Precio Unitario (neto) (\$/kg bruto)	Costo por Hectárea (M\$)
Urea	200	46%	92	280 - 472	56 - 95
Superfosfato Triple	100	46%	46	480 - 602	48 - 60
Muriato de Potasio	50	60%	30	576 - 696	29 - 35
<i>Total</i>	350		168		133 - 190

Fuente: Elaboración Propia. Precios Unitarios: COOPRINSEM Panguipulli 16/01/2009 y ANAGRA Osorno/Paillico 16/02/2009)

Los productores visitados en María Pinto presentan los siguientes gastos en fertilizantes durante el año pasado:

- Productor 1: \$ 80.000/ha
- Productor 2: \$ 10.000/ha
- Productor 3: \$ 12.000/ha

Por otro lado se evidenció en terreno que los productores frecuentemente no dan uso provechoso a los purines depositados en la sala de espera y la sala de ordeña, por lo cual éstos difícilmente darán uso al efluente del biodigestor.

Para la valorización solamente se debe tomar en cuenta el aumento de las propiedades del efluente tratado respecto del purin fresco, que se estima en un orden de 10 a 20%. Asumiendo un contenido del 0,4% de nitrógeno en el efluente del digestor, se obtienen flujos de entre 73 kg N/a (biodigestor de Vd 5 m³) y 219 kg N/año (biodigestor de Vd 15 m³). Tomando en cuenta la eficacia a largo plazo, se podrá asumir un 90% con respecto al nitrógeno inorgánico (Fuente: FAO, 1992:103), sin tomar en cuenta condiciones ambientales locales. En conjunto con la tasa de mejora de propiedades expuesta anteriormente, se obtienen rangos de flujos de nitrógeno (expresado como nitrógeno inorgánico) de 7-13 kg/a (Vd 5 m³) hasta 20-40 kg/a (Vd 15 m³).

Aplicando los precios locales señalados anteriormente, se podría llegar a la conclusión que el efluente de los biodigestores podría ser valorizado en términos promedio de \$ 5.000 - \$ 10.000 (Vd 5 m³) a \$ 15.000 - \$ 30.000 (Vd 15 m³) anuales.

Por otra parte, la aplicación involucra gastos adicionales, ya que el efluente se genera diariamente, o bien, se requieren estanques de almacenamiento, por lo cual, para efectos del presente estudio, se valora el aumento de la disponibilidad de nutrientes en cero.

7.2 Reducción de Olores

Los malos olores que se producen al disponer el estiércol sin digerir en los campos, se deben, principalmente, a ácidos grasos y fenoles, entre otros compuestos presente en dicho sustrato. Estos compuestos no se forman o son degradados durante la digestión anaerobia. A mayor grado de digestión, o a mayores tiempos de retención, se disminuyen estos olores.

A través de análisis prácticos en plantas de biogás con estiércol vacuno, se determinó que se disminuye entre un tercio a la mitad de los olores en comparación con estiércol fresco. Además, se observó que después de tres horas de haber dispuesto el estiércol digerido al campo, los olores ya no son detectables.

7.3 Higienización

Uno de los peligros que se produce al utilizar el estiércol como mejorador de suelo, es que se pueden transmitir los microorganismos patógenos contenidos en él. Sin embargo, se ha visto que la digestión anaerobia reduce significativamente la cantidad de estos, dependiendo de la temperatura del proceso y del tiempo de retención. Ahora bien, la producción de biogás a temperaturas psicrófilas no constituye un proceso tan eficiente para la reducción en comparación con temperaturas más altas, de acuerdo a lo que se indica en la tabla que sigue.

Se ha observado que los virus, como el parvo o talvo virus (*Coxsackie virus*), no se desactivan a temperaturas psicrófilas, mientras que a temperaturas mesófilas a termófilas (con tiempos de retención entre tres a 48 horas), se logra una disminución de alrededor de una potencia (ó orden de magnitud), es decir aproximadamente en un 90%.

La reducción de bacterias si se puede lograr, requiriéndose 44 días, a temperaturas psicrófilas, en el caso de *Salmonella typhimurium* y de *Escherichia coli*.

TABLA 7-3:
TIEMPO DE SOBREVIVENCIA DE PATOGENOS EN PLANTAS DE BIOGÁS

Microorganismo	Digestión Termófila 53 – 55°C		Digestión Mesófila 35 -37°C		Digestión Psicrófila 8 – 25°C	
	Días	Porcentaje	Días	Porcentaje	Días	Porcentaje
<i>Salmonella</i>	1 - 2	100%	7	100%	44	100%
<i>Shigella</i>	1	100%	5	100%	30	100%
<i>Anquilostoma</i>	1	100%	10	100%	30	90%
<i>Ascaris lumbricoides</i>	2	100%	36	98,8%	100	53%

Fuente: Werner, U.; Stöhr, U.; Hees, N. (1989): Biogas plants in animal husbandry, GTZ-GATE

Los biodigestores utilizan los residuos y aguas residuales, por lo que contribuyen directamente al mejoramiento de las condiciones sanitarias.

Al coleccionar estiércol en un tanque cerrado, se evita el almacenamiento abierto. Además, a través del proceso de digestión anaerobia se reduce significativamente el contenido de patógenos. En consecuencia, se puede decir que a través de biodigestores se mejoran las condiciones sanitarias por lo que se puede aumentar la expectativa de vida de las personas.

De modo de ejemplo, en China la frecuencia de enfermedades gastrointestinales se vio significativamente reducida tras el uso de biodigestores, lo que se traduce en un ahorro en medicamentos y consultas médicas, mejorando así la calidad de vida de las personas.

No obstante lo anterior, para el caso presente, no se puede cuantificar el beneficio monetario en este ítem.

7.4 Eliminación de Maleza

El estiércol contiene semillas de maleza las cuales germinan al ser dispuestas en la tierra, empeorando la calidad de éstas. A través del proceso digestivo, gran parte de estas semillas son degradadas, siendo el grado de reducción dependiente de la temperatura y tiempo de retención del proceso.

Se ha visto que la especie de *Echinochloa crus-galli* (hualcacho) es más susceptible que *Rumex obtusifolius* (duraznillo), siendo ambas reducidas en este proceso.

7.5 Ahorros de Combustible/Reducción de Deforestación

Dado que el biogás puede sustituir otras fuentes de energía, se produce un ahorro en el gasto por gas licuado, principalmente. Para el cálculo del impacto se consideran pérdidas del biogás del orden del 10% y los factores de conversión anteriormente mencionados, éstos son:

- | | |
|------------------------------------|---|
| • Contenido energético del biogás: | 5,5 kWh/m ³ |
| • Equivalencia a gas licuado: | 1 kWh = 78 g |
| • Equivalente en diesel: | 1 kWh = 0,1 L |
| • Equivalente en leña: | 1 kWh = 1 kg (aproximado, depende del grado de humedad) |

Por tanto, con un metro cúbico de biogás generado, se puede sustituir 430 g de gas licuado ó 0,6 litros de diesel ó 5,5 kilos de leña.

Un metro cúbico de biogás significa un posible ahorro de \$430, asumiendo un costo de \$1.000 por kilo de gas licuado. En el caso de diesel, el ahorro sería del orden de \$300, y en el caso de sustituir leña como fuente energética, el ahorro sería del orden de \$90 (para un 1 m³ de leña a \$8.000). Para este estudio no se considera la sustitución de leña o diesel, debido al mayor uso del gas licuado.

7.6 Reducción de Gases Efecto Invernadero

El uso de biodigestores reduce las emisiones de gases efecto invernadero al sustituir directamente el uso de leña y carbón para cocinar, calentar, generar electricidad e iluminar. Además, al reducir el consumo de fertilizantes artificiales, se reducen las emisiones que generan dichas industrias productoras.

La combustión de biogás contribuye a la mitigación del calentamiento global. Esto se debe a que el principal constituyente del biogás es el metano, gas cuyo efecto invernadero es 21 veces mayor que el dióxido de carbono producto de la combustión, por lo que su transformación reduce significativamente el efecto invernadero. Esto, sin embargo, aplica solamente en el caso que el biogás haya sido generado a partir de un sustrato, el cual hubiese liberado metano en su proceso de descomposición natural.

En el caso de producciones lecheras en países en vía de desarrollo, se ha determinado que el potencial de emisiones de metano es de alrededor de $0,13 \text{ m}^3$ por kg de sólidos volátiles, siendo este valor mayor en países industrializados debido al tipo de alimento ingerido por el ganado, alcanzando los $0,24 \text{ m}^3$ de metano por kg de sólidos volátiles.

Otro gas de efecto invernadero de gran potencial es el óxido nitroso (N_2O), el cual posee un efecto 310 veces mayor al dióxido de carbono, siendo generado durante el proceso natural de nitrificación y desnitrificación en suelos, establos y sistemas de manejo de residuos agropecuarios. Estas emisiones se pueden reducir significativamente a través del proceso de digestión anaerobia, alcanzando reducciones de hasta un 10%.

Asumiendo que con la quema de 1 m^3 de biogás se puede evitar 1,6 kilos de equivalente de dióxido de carbono, con los biodigestores propuestos se podrían reducir estas emisiones en aproximadamente 500 kg (Vd 5 m^3) a 1.500 kg (Vd 15 m^3) anuales. Dependiendo del valor de la tonelada de dióxido de carbono, estas cantidades se podrían valorizar en US\$ 5 a 15, asumiendo su valor en US\$ 10 por tonelada.

7.7 Cumplimiento de la Normativa Ambiental

Por lo general, proyectos de biodigestores para pequeños productores no ingresan al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA), ni contarán con un programa de monitoreo de sus efluentes, considerando las características de tales proyectos, el espíritu de la ley (aplicabilidad a proyectos "industriales") y los costos asociados a la tramitación, que haría inviable cualquier sistema de tratamiento.

No obstante lo anterior, los proyectos de biodigestores son afectados por la Ley de Bases Generales de Medio Ambiente y las Normas de Descarga si la carga contaminante diaria es igual o superior al equivalente de 100 personas o si supera el valor característico de aguas servidas domiciliarios, lo que podría darse bajo ciertas circunstancias a partir de proyectos con más de 30 a 50 animales.

En el Anexo C se presenta una discusión detallada de los aspectos asociados al cumplimiento de la normativa ambiental, incluyendo un listado de los proyectos que han sido ingresados al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental, así como también una nómina de establecimientos industriales que cuentan con resolución de programa de monitoreo por D.S. 90 y D.S. 46, respectivamente.

El impacto económico asociado al cumplimiento de la normativa ambiental solamente puede ser negativo, debido a los costos de tramitación de permisos y fiscalización. Considerando lo anterior, para los tamaños de biodigestores propuestos se considera un costo cero, asumiendo que no se requiere permiso especial.

7.8 Empleo Rural

Durante la construcción del biodigestor, se generan efectos sobre el ingreso y empleos locales, los cuales subsecuentemente continuarán, excepto que los mismos agricultores construyan sus digestores. La construcción de los biodigestores propuestos se puede realizar entre una y dos semanas, empleando la mano de obra de dos a tres personas.

Indirectamente, se generan contratos con empresas locales o regionales, para la mantención de la planta y equipos de biogás. Además, el uso de biogás diversifica los tipos de combustibles ofrecido en el mercado, a través de lo cual se puede llegar a asegurar el suministro energético.

7.9 Resumen

En la siguiente tabla se presenta, a modo de resumen, las externalidades previamente expuestas.

**TABLA 7-4:
IDENTIFICACIÓN DE EXTERNALIDADES**

Externalidades	Valoración Cualitativa
Aumento de la disponibilidad de nutrientes	• Mejora calidad del suelo • Mayor permeabilidad • Mejora propiedades higroscópicas • Evita erosión y contaminación por nitratos
Homogenización	• Al disminuir sólidos volátiles se obtiene un efluente menos viscoso → Se logra una disposición uniforme en el campo
Reducción de olores	• Disminuye la intensidad del olor asociado al estiércol entre un tercio y la mitad • Una vez dispuesto en el campo, olor no es perceptible luego de tres horas
Higienización	• Según la temperatura del proceso y tiempo de retención, se logra disminuir significativamente microorganismos patógenos → Disminuyen vectores de enfermedades
Eliminación de malezas	• Según la temperatura del proceso y tiempo de retención, se logran degradar semillas que germinan en el suelo → Mejora calidad de las praderas y cultivos
Ahorros de combustibles/ reducción de la deforestación	• El biogás generado puede reemplazar el uso de leña/gas licuado → Se reduce la deforestación
Reducción de gases efecto invernadero	• Sustitución de leña y carbón • Disminuye la producción de fertilizantes artificiales • Reducción del efecto invernadero al convertir metano a dióxido de carbono • Reducción de hasta un 10% de óxido nitroso

Fuente: Elaboración Propia en base a: Eder, B.; Schulz, H. (2006). Biogas Praxis; Werner, U.; Stöhr, U.; Hees, N. (1989): Biogas plants in animal husbandry, GTZ-GATE

No obstante lo anterior, la valoración monetaria de algunas de las externalidades es compleja, y requiere de estudios e investigaciones adicionales. Los impactos identificados y medidos en esta ocasión corresponden a aquellos que habitualmente se incorporan en proyectos de esta naturaleza: a) Uso de biogás como fuente energética, b) Utilización del efluente como fertilizante y c) Reducción de gases de efecto invernadero.

Se ha demostrado, que, en el caso de biodigestores de pequeño tamaño, éstas dos últimas externalidades son despreciables en su magnitud, razón por la cual en la estimación del impacto socioeconómico se consideran solamente los beneficios del uso de biogás como sustituto de gas licuado.

8 ESTIMACIÓN DEL IMPACTO SOCIOECONÓMICO

En el presente capítulo se presenta la estimación de costos de inversión y de operación de los biodigestores propuestos. Además de indicadores económicos se presenta un cálculo del punto de equilibrio que equivaldría al costo del combustible a sustituir, en este caso el gas licuado.

La estimación de los costos que se presentará en este capítulo corresponde prácticamente a un nivel de ingeniería conceptual, y tiene un margen de error de +/- 30 %. Dichos costos pueden variar de un sitio a otro. En el Anexo E se presenta un directorio de personas y empresas con conocimientos y experiencia en la construcción de biodigestores.

Supuestos

Se asumen los siguientes supuestos, tomando en cuenta los precios sociales definidos por MIDEPLAN:

- Aumento de costos de inversión: 3% durante todo el periodo.
- Incremento de gastos de operación: 3% durante todo el periodo.
- Tasa privada de descuento: Se calcula para 5%, 10% y 15%.
- Tasa social de descuento: 8% durante todo el periodo.
- Valor residual de las instalaciones: Cero.
- Costo de inversión: De acuerdo los precios referenciales (incluyendo imprevistos, utilidad e IVA). No se considera el IVA en la evaluación social.
 - Biodigestor de 5 m³: \$ 1.750.000 (\$350.000/m³).
 - Biodigestor de 10 m³: \$ 3.000.000 (\$300.000/m³).
 - Biodigestor de 15 m³: \$ 4.050.000 (\$270.000/m³).
- Costo de mantenimiento: 1% anual del costo de inversión.
- Gastos de operación: se asume una carga de trabajo de 5 h/mes y un costo de \$1.500 por hora hombre.
- Factor de ajuste mano de obra no calificada: 0,89
- Horizonte de evaluación/Vida útil: 10 años.
- Crédito por compra de activo fijo: No se considera.

Valor Actual de Costos

En el cálculo de los índices de rentabilidad que permiten comparar entre la situación "con proyecto" y la situación "sin proyecto" se utiliza el Valor Actual de Costos (VAC), que es el valor actualizado de los costos de inversión, operación y mantención. Esto significa que se traen todos los costos del proyecto a lo largo de su vida a útil a valor presente, permitiendo comparar las alternativas en un mismo momento y con una misma moneda. Para ello se asume que ambas situaciones que tienen beneficios y vida útil iguales.

(Ecc. 1)

$$VAC = \sum_{i=0}^n \frac{Ci}{(1+r)^i}$$

Donde:
n = período de evaluación
r = tasa de descuento
C = costos asociados al proyecto

Situación "Sin Proyecto"

En la situación "sin proyecto", para tener los mismos beneficios, no se requieren inversiones, sino se debe solamente adquirir el gas licuado. A continuación se presenta el VAC como función del valor base del gas licuado. Un cálculo más detallado se presenta en el Anexo D-1.

TABLA 8-1:
VAC, SITUACIÓN "SIN PROYECTO", TASA SOCIAL DE DESCUENTO DE 8%

Volumen Digestor (m ³)	Compra Anual de Gas Licuado (kg)	VAC (\$), considerando un Valor Base del Kilo de Gas Licuado de ...					
		\$ 800	\$ 900	\$ 1.000	\$ 1.100	\$ 1.200	\$ 1.300
5	131	-791.254	-890.161	-989.068	-1.087.974	-1.186.881	-1.285.788
10	262	-1.582.508	-1.780.322	-1.978.135	-2.175.949	-2.373.762	-2.571.576
15	393	-2.373.762	-2.670.482	-2.967.203	-3.263.923	-3.560.643	-3.857.363

Fuente: Elaboración Propia

TABLA 8-2:
VAC, SITUACIÓN "SIN PROYECTO", TASA PRIVADA DE DESCUENTO DE 15%

Volumen Digestor (m ³)	Compra Anual de Gas Licuado (kg)	VAC (\$), considerando un Valor Base del Kilo de Gas Licuado de ...					
		\$ 800	\$ 900	\$ 1.000	\$ 1.100	\$ 1.200	\$ 1.300
5	131	-583.216	-656.118	-729.020	-801.922	-874.824	-947.726
10	262	-1.166.432	-1.312.236	-1.458.040	-1.603.844	-1.749.648	-1.895.452
15	393	-1.749.648	-1.968.354	-2.187.060	-2.405.766	-2.624.472	-2.843.178

Fuente: Elaboración Propia

Situación "Con Proyecto", Evaluación Privada

El cálculo de la evaluación privada de la situación "con proyecto" se presenta en el Anexo D-2. A continuación se presentan los resultados para tres diferentes tasas de descuento.

TABLA 8-3:
VAC PRIVADO, SITUACIÓN "CON PROYECTO"

Volumen Digestor (m ³)	VAC (\$), para Tasa de Descuento de ...		
	5%	10%	15%
5	-2.777.843	-2.558.840	-2.403.892
10	-4.137.187	-3.894.887	-3.723.455
15	-5.279.037	-5.017.166	-4.831.888

Fuente: Elaboración Propia

Situación "Con Proyecto", Evaluación Social

El cálculo de la evaluación social de la situación "con proyecto" se presenta en el Anexo D-3. A continuación se presentan los resultados para la tasa social de descuento.

TABLA 8-4:
VAC SOCIAL, SITUACIÓN "CON PROYECTO"

Volumen Digestor (m ³)	VAC (\$), para Tasa de Social de Descuento (8%)
5	-2.201.388
10	-3.308.748
15	-4.251.755

Fuente: Elaboración Propia

Comparación Evaluación Privada

Desde el punto de vista de una evaluación privada, los proyectos no son económicamente rentables, bajo los supuestos asumidos, por lo cual requieren de un subsidio que cubra la diferencia entre el VAC "con proyecto" y el VAC "sin proyecto", considerando un valor base del gas licuado de \$ 1.000 el kilo. Para un biodigestor de 5 m³, el subsidio debe cubrir casi el 100% del monto de inversión, mientras que para un biodigestor de 10 m³ el subsidio debe alcanzar dos tercios de la inversión y en el caso de un biodigestor de 15 m³ el subsidio correspondería a aproximadamente la mitad del monto de inversión.

TABLA 8-5:
DIFERENCIA VAC PRIVADO "CON PROYECTO" Y VAC "SIN PROYECTO" Y SUBSIDIO REQUERIDO, PARA TASAS DE DESCUENTO DE 5% Y 15%

Volumen Digestor (m ³)	Diferencia VAC (\$)"Con Proyecto" y "Sin Proyecto"		Porcentaje del Subsidio con Respecto al Monto de Inversión	
	5%	15%	5%	15%
5	1.631.908	1.674.872	93%	96%
10	1.845.317	2.265.415	62%	76%
15	1.841.232	2.644.828	45%	65%

Fuente: Elaboración Propia

A continuación se calculan los valores base equilibrio del kilo de gas licuado, donde el VAC "sin proyecto" = VAC "con proyecto".

TABLA 8-6:
PUNTOS DE EQUILIBRIO DE LA EVALUACION PRIVADA, PARA TASAS DE DESCUENTO DE 5%, 10% Y 15%

Volumen Digestor (m ³)	Punto de Equilibrio considerando una Tasa de Descuento de ...		
	5%	10%	15%
5	\$ 2.425	\$ 2.835	\$ 3.300
10	\$ 1.805	\$ 2.160	\$ 2.555
15	\$ 1.535	\$ 1.855	\$ 2.210

Fuente: Elaboración Propia

De la tabla anterior se desprende, que el costo unitario que permite autofinanciar el biodigestor a través de ahorro en gas licuado fue calculada entre \$1.535 (Vd 15 m³) y \$3.300 (Vd 5 m³) por kilo de gas licuado, dependiendo de la tasa de descuento aplicable y el volumen del biodigestor.

Comparación Evaluación Social

Desde el punto de vista de una evaluación social, los proyectos tampoco son económicamente rentables, bajo los supuestos asumidos, por lo cual requieren de un subsidio que cubra la diferencia entre el VAC "con proyecto" y el VAC "sin proyecto", considerando un valor base del gas licuado de \$ 1.000 el kilo. Para un biodigestor de 5 m³, el subsidio debe cubrir el 85% del monto de inversión, mientras que para los biodigestor de 10 m³ y 15 m³ el subsidio debe alcanzar el 54% y el 39% del monto de la inversión, respectivamente.

TABLA 8-7:
DIFERENCIA VAC SOCIAL "CON PROYECTO" Y VAC "SIN PROYECTO" Y SUBSIDIO REQUERIDO, PARA UNA TASA SOCIAL DE DESCUENTO DE 8%

Volumen Digestor (m ³)	Diferencia VAC (\$) "Con Proyecto" y "Sin Proyecto"	Porcentaje del Subsidio con Respecto al Monto de Inversión
5	1.212.320	85%
10	1.330.613	54%
15	1.284.552	39%

Fuente: Elaboración Propia

A continuación se calculan los valores base equilibrio del kilo de gas licuado, donde el VAC social "sin proyecto" = VAC social "con proyecto".

TABLA 8-8:
PUNTOS DE EQUILIBRIO DE LA EVALUACION PRIVADA, PARA TASA SOCIAL DE
DESCUENTO DE 8%

Volumen Digestor (m³)	Punto de Equilibrio considerando una Tasa de Descuento de 8%
5	\$ 2.225
10	\$ 1.670
15	\$ 1.435

Fuente: Elaboración Propia

De la tabla anterior se desprende, que el costo unitario que permite autofinanciar el biodigestor a través de ahorro en gas licuado fue calculada entre \$1.435 (Vd 15 m³) y \$2.225 (Vd 5 m³) por kilo de gas licuado, dependiendo del volumen del biodigestor.

Implicancias para un Programa Piloto de Biodigestores

Bajo los supuestos de un precio de gas licuado de \$1.000/kg, y un costo de capital de 15%; el costo adicional en que debe incurrir el productor es del orden de \$1,6 millones en el caso de un biodigestor de 5 m³ y en el caso de biodigestores de 10 m³ y 15 m³, este valor aumenta a \$2,2 millones y \$2,6 millones respectivamente.

Desde el punto de vista social, esta misma inversión significa un costo social o real del orden de \$1,3 millones. Por lo anterior, en este caso particular, un subsidio sólo se justificará si los impactos positivos no-valorados en esta evaluación superan dicho costo social. El monto del subsidio máximo es el resultado del exceso de beneficios sociales sobre \$1,3 millones.

En concordancia con lo anterior, el efecto que tendría un Programa Piloto de Biodigestores sobre la relación comercial con la agroindustria y en la estructura de costos del pequeño productor, dependerá exclusivamente del subsidio a entregar.

A juicio del consultor, y en base a los antecedentes disponibles, no es económicamente conveniente desde el punto de vista social o de país, impulsar la ejecución de la iniciativa.

9 FACTORES QUE HAN INFLUIDO EN EL ÉXITO Y PROPAGACIÓN DE BIODIGESTORES EN PROGRAMAS DE DISEMINACIÓN

En el presente capítulo se discuten de manera genérica aquellos factores que han influido en el éxito y propagación de biodigestores en programas de diseminación en otros países, señalando los factores que a juicio del consultor condicionan la implementación de un Programa Piloto de Biodigestores en Chile.

9.1 Participación

El principio básico de cualquier tipo de planificación de proyecto debe involucrar desde un comienzo a los actores principales, es decir, el grupo objetivo que se beneficiará con la implementación de biodigestores. Estos son:

Agricultores/Lecheros

A través del uso de biodigestores, este grupo se beneficia al obtener biogás y estiércol digerido, los cuales sustituirían combustibles y fertilizantes, traducándose en un ahorro monetario. Además, según el tipo de establo que posean, podrán optimizar la recuperación de estiércol y, debido a las propiedades del estiércol digerido, se podrá lograr una distribución uniforme sobre las tierras, logrando una mayor productividad agraria.

Industrias

Al tratar sus residuos en un biodigestor, las industrias podrán cumplir con la aplicación de las leyes ambientales vigentes, además de generar energía alternativa para el proceso productivo, iluminación o requerimientos térmicos.

Municipalidades

Las municipalidades pueden beneficiarse del proceso de biodigestión para solucionar problemas de residuos y tratamientos de aguas en sus municipios, además de aprovechar la energía para el alumbrado público y/o suplir necesidades energéticas de instituciones públicas como hospitales y colegios.

Gobiernos

Al existir un gran número de plantas de biogás funcionando adecuadamente, se reduce la deforestación, se sustituyen fertilizantes artificiales, se incrementa la producción agropecuaria bajo estándares sustentables y sostenibles, se reduce el desempleo, se reduce la importación de combustibles fósiles y se contribuye a la diversificación de la matriz energética del país.

Obreros, Ingenieros y Operarios

La tecnología de generación de biogás crea nuevos nichos de mercado para obreros, ingenieros y operarios, los cuales, generalmente, constituyen la mejor herramienta de promoción.

De modo de promover el interés del grupo objetivo, éste debe ser involucrado en etapas tempranas de la planificación, una vez que el estudio de pre-factibilidad haya revelado los diversos problemas que presenta la implementación de la tecnología, de modo que se busquen soluciones de manera conjunta. El momento ideal para la presentación del concepto y tecnología, es durante la última fase de investigación, es decir, al contar con resultados preliminares que sirvan de base para su discusión.

9.2 Tabúes Religiosos y Sociales

Los tabúes son generalmente de carácter social, los cuales, al ser violados, son sancionados ya sea a través de un castigo directo o a través de la pérdida de respeto social.

El castigo físico y la expulsión de la comunidad, en la mayoría de los casos, ya no es aplicable debido a que las sanciones, actualmente, son de carácter legal. Sin embargo, en la mayoría de los casos ocurre exclusión social lo cual no es grave solamente para el afectado directo, sino crea una situación inaccesible para el proyecto o autoridades. Al ser ilegal las sanciones sociales, no se habla de la exclusión de participantes en la comunidad por lo que es difícil acceder al problema.

Por otro lado, las sanciones son establecidas por instancias dominantes o autoridades que velan por el respeto de los tabúes, siendo ellos los que también podrán determinar excepciones. Estas autoridades pueden ser:

- **Tabúes religiosos:** sacerdotes o miembros de una comunidad religiosa.
- **Tabúes sociales:** líderes sociales como personas de edad, personalidades, grupos políticos, etc. En muchos casos, mujeres de edad juegan un papel importante en comunidades sin que sea observable para externos.
- **Tabúes de carácter general:** miembros especialmente reconocidos en una comunidad, denominadas personas clave, debido a su especialidad profesional, como por ejemplo profesores o gerentes de bancos locales.

En consecuencia, es correcto promover la innovación tecnológica con líderes reconocidos y darles la libertad sobre la decisión con respecto al procedimiento de introducción. No existe un método general para la aplicación local de una tecnología, sino que el método debe ser integrado al contexto local. Por ejemplo, los sacerdotes son líderes religiosos pero su influencia depende de cada localidad.

Sin embargo, este tipo de tabúes no han sido reportados en el sur de Chile, por lo que no se consideran pertinentes los tabúes religiosos y sociales para el proyecto.

9.3 Clases Sociales y Barreras Sociales

Se debe considerar que existen clases sociales y barreras sociales que varían según localidad y que éstas pueden influir en la implementación.

Desviaciones típicas son:

En Sociedades Jerárquicas

- La ausencia de ciertos grupos jerárquicos en la comuna.
- El cambio de la jerarquía bajo ciertas condiciones.
- Una reestructuración de la jerarquía para ciertos proyectos.

En Sociedades más Igualitarias

- La abolición de principios igualitarios en cierto grupo de personalidades en la comuna.
- La abolición de principios igualitarios según especialización.

Como estas desviaciones no pueden ser previstas, un análisis preliminar ofrece las siguientes posibilidades:

- El desarrollo de un modelo general de clases, el cual incluye un criterio de prueba de la aplicabilidad local.
- El potencial de ocupación de ciertas funciones individuales.
- El potencial de ocupación de ciertos puestos de trabajo.

El modelo general de clases sirve de instrumento de referencia para la realización de una encuesta principal y como herramienta de control de resultados. El modelo no debe reemplazar la encuesta principal bajo ninguna circunstancia, debido a que desviaciones locales, si bien no necesariamente influyen fuertemente en el modelo, pueden llegar a afectar el grado de funcionamiento en la implementación inicial.

Igualmente importante, que el crear estructuras de levantamiento de información y control, es la definición de la posición del grupo objetivo en relación con grupos vecinos. Esto se hace necesario especialmente en las siguientes situaciones:

El Grupo Propuesto o Institución no es Autónomo en la Operación del Biodigestor:

Requiere de materias primas (materiales o servicios) de otros grupos como de comunas vecinas o empresas. En este caso, se debe realizar una investigación para determinar si ese otro grupo estaría dispuesto en entregar dichos servicios, sin que se viole el sistema de clases sociales.

El Programa de Implementación consta de un Programa Piloto:

En este caso es importante considerar, no solo la aceptación del grupo objetivo temporal, sino también la aceptación del programa por futuros grupos. Violaciones a normas sociales que podrían ser aceptables por grupo objetivo inicial, podrían ser rechazadas por comunas vecinas, llegando al rechazo general de proyectos de biogás. En consecuencia, los programas pilotos deberían evitar la violación de normas sociales aunque localmente sea posible.

Estos aspectos sociales son de gran importancia cuando se quiere lograr la asociatividad de grupos, como por ejemplo, la asociatividad de pequeños Agricultores/Lecheros. Según la distribución de los predios, se puede llegar a formar una cooperativa, de modo que se implementa una planta de biogás para toda la comuna, de modo que cada agricultor/productor lechero aporte con sus sustratos y se repartan los productos generados (energía y fertilizantes).

9.4 Regulaciones Sociales sobre la Segregación de la Mano de Obra

Las regulaciones sociales para la segregación de la mano de obra nacen a menudo por:

- El privilegio de ciertos grupos de hacerse cargo de empleos deseables por el hecho de pertenecer a ciertos grupos étnicos, edad o sexo.
- La tradición de ciertos grupos de ocupar empleos, como lo es el sexo.
- Regulaciones de carácter económico o político, como la realización de ciertas tareas por los grupos más ricos de una comunidad para asegurar una mano de obra barata para la explotación agrícola.

Las regulaciones sobre la segregación de la mano de obra es un fenómeno persistente, de modo que grupos líderes se rehusan a realizar trabajos prohibidos social o religiosamente, como la mano de obra pesada o el manejo de excretas, lo cual fuerza a grupos dependientes social- o económicamente a realizar estos trabajos.

Si bien estas regulaciones persisten en la actualidad, no es un factor influyente para el proyecto puesto que las tareas que involucra el manejo del biodigestor, no difieren de las tareas diarias de una producción sin biodigestor. Además, las exigencias técnicas no son muy elevadas, requiriendo una capacitación de los operarios con respecto al óptimo funcionamiento del proceso, al uso del estiércol digerido como fertilizante, y la mantención y reparación de la planta.

9.5 Consideraciones de Género

Si bien, las mujeres han sido excluidas de los procesos de decisión cuando se trata de asuntos extra-familiares, son las más interesadas en cuanto a lo que se refiere al uso del biogás en la cocina. Una vez construido un biodigestor, son ellas las más afectadas por el mal funcionamiento de éste, por lo que son ellas las con mayor interés en obtener una reparación eficiente.

Hay diferentes maneras de integrar a mujeres:

- Integrar las mujeres en el proceso de decisión.
- Crear un comité de mujeres para la regulación de problemas de los consumidores.
- Crear comités mixtos especializados.

El impacto de comités de mujeres no debe ser subestimado, ya que si bien no ejerce una influencia directa sobre la toma de decisiones, le da más confianza a la mujer la cual indirectamente influye en la toma de decisiones. Además, este tipo de comité especial puede llegar a constituir el primer paso para la participación total en el futuro.

No obstante, en Chile, los trabajos de ordeña y limpieza principalmente recaen sobre el hombre, por lo cual las consideraciones de género no resultan demasiado decisivas.

9.6 Implicancias para el Diseño de un Programa Piloto de Biodigestores

A modo de resumen se presentan los factores previamente expuestos en la siguiente tabla.

TABLA 9-1:
FACTORES QUE HAN INFLUIDO EN EL ÉXITO Y PROPAGACIÓN DE BIODIGESTORES
EN PROGRAMAS DE DISEMINACIÓN INTERNACIONAL

Factor	Valoración
Participación	Es importante involucrar desde un comienzo a los pequeños productores como único actor relevante.
Tabúes religiosos y sociales	No aplica a la realidad chilena.
Clases sociales y barreras sociales	No aplica a la realidad chilena.
Regulaciones sociales sobre la segmentación de la mano de obra	No tiene importancia para el proyecto puesto que las tareas que implica la operación de un biodigestor no difieren de las tareas cotidianas que realiza un pequeño agricultor.
Consideraciones de género	Los trabajos de ordeña y limpieza principalmente recaen sobre el hombre, por lo cual las consideraciones de género no resultan demasiado decisivas.

Fuente: Elaboración Propia en base a GTZ-GATE (1999): Biogas Digest Volume I. Biogas Basics.

En el estudio se han identificado cuatro factores críticos para un programa piloto de biodigestores:

- **Participación:** Importancia de involucrar a los pequeños productores (y sus organizaciones) y organismos técnicos como únicos actores relevantes en etapas tempranas del proyecto.
- **Ubicación:** Privilegiar predios con favorables condiciones climáticas.
- **Financiamiento:** Establecer un subsidio para la construcción de los biodigestores.
- **Proveedores:** Crear condiciones favorables para disminuir los costos de transacción y generar márgenes atractivos para los pocos proveedores que cuentan con suficiente experiencia.

Para efectos del presente estudio, se propone enfocar el interés en aquel grupo de productores que presentan una producción más intensiva, lo que permitirá captar una alta cantidad de purines. Tienen además un mayor número de animales, lo cual permitirá mejorar la relación costo-beneficio, por efectos de escala y la implementación de biodigestores de mayor tamaño.

Los productores seleccionados deben reconocer a las instituciones como buen socio y deben haber aprovechado un número importante de los programas que la institución le ofrece. De acuerdo a la información entregada por INDAP, el grupo de productores de leche que se benefician con el instrumento Servicio de Asesoría Técnica (SAT) podría constituir el grupo objetivo de un programa piloto. Dado que el 87% de éstos se encuentran en las regiones de

Los Lagos y Los Ríos, un programa piloto se debería implementar en estas zonas, tomando en cuenta las condiciones climáticas, que son más favorables hacia el norte.

Considerando lo anterior, se deben privilegiar zonas con menor pluvimetría y mayores temperaturas medias anuales. Adicionalmente, se requieren salas de ordeña cementadas y en lo posible salas de espera techadas y cementadas. Las aguas lluvia deben ser separadas del flujo de las aguas de lavado. En lo posible se debe trabajar con productores que tengan implementados pozos purineros adecuados.

La diseminación debe apoyarse en los organismos estatales como impulsor principal, dado que la inversión particular en un biodigestores significa un gasto inicial muy fuerte que en las condiciones actuales no generará suficiente retorno. De hecho, el efecto que tendría un programa piloto de biodigestores sobre la relación comercial con la agroindustria es prácticamente cero, debido a que el único cambio en la estructura de costos son los posibles ahorros en gas licuado.

Por lo mismo, se requieren incentivos o subsidios para fomentar la implementación de estos biodigestores pequeños, que varían entre el 50% al 100% de su costo de inversión, para que sean económicamente viable. En el caso de un programa piloto, todos los costos deben ser asumidos por completo por el programa. Además se debe considerar un apoyo periódico, mediante visitas de técnicos especializados, durante al menos el primer año de operación de cada biodigestor. Adicionalmente se requiere de la organización de giras de visitas de otros productores interesados, para apoyar a la diseminación.

En Chile existen muy pocas personas y empresas con capacidades en la instalación de biodigestores a pequeña escala (ver listado en el Anexo E). Si bien muchas de ellas señalan interés, los márgenes son mínimos, por lo cual las empresas estarán interesadas en implementar biodigestores de mayor tamaño y precio. Por otro lado, se sugiere definir un número adecuado de biodigestores a implementar en un programa piloto y su adjudicación a uno o tres proveedores, para disminuir los costos de transacción y generar márgenes atractivos.

10 RESUMEN

Identificación Pequeño Productor

El INE clasifica a los pequeños productores lecheros como aquellos que poseen un ganado de entre 10 y 49 cabezas. De la misma manera, INDAP se refiere a los pequeños productores como "Agricultura Familiar Campesina (AFC)" y considera la existencia de tres estratos de acuerdo al número de vacas lecheras, presentándose un promedio de 9,0 vacas lecheras por lechería AFC:

- 10 y menos vacas lecheras.
- 11 a 20 vacas lecheras.
- 21 a 49 vacas lecheras

Factores Climáticos

Biorreactores no calefaccionados operan satisfactoriamente solamente en lugares con temperaturas medias anuales de 20°C o bien donde se presentan temperaturas medias diarias superiores a 18°C. La tasa de producción de metano aumenta a mayor temperatura, sobre todo en el rango de 20 a 28°C. La digestión anaerobia de material orgánico requiere una temperatura mínima de 15°C ya que debajo de esta temperatura la generación de metano es mínima. A temperaturas bajas, se disminuye drásticamente la tasa de generación de biogás, y, a la vez aumenta el tiempo necesario para la digestión y en consecuencia el tamaño del biorreactor (se optó por un tiempo de residencia de 100 días), y finalmente los costos.

Disponibilidad de Biomasa y Potencial de Biogás

Considerando que los pequeños productores frecuentemente no cuentan con patios de espera cementados, para efectos del presente estudio, se considera un factor de recuperación más reducido aún, de aproximadamente 10 a 12%. Entonces, la cantidad de fecas y orina que potencialmente se podría recuperar para ser alimentada a un biodigestor es de 4,5 kg por vaca día. En cuanto a la biomasa disponible, en el estudio se consideran exclusivamente los purines, ya que biodigestores pequeños podrían presentar problemas operacionales a utilizar otros sustratos con mayor potencial metanogénico.

El potencial de biogás de pequeños productores lecheros representa solamente el 3,3% del potencial energético a partir de estiércol de vacuno estimado por la CNE/GTZ, para estas regiones.

En el caso de un productor promedio que cuenta con nueve vacas lecheras, se obtienen los siguientes valores:

- | | |
|--|--|
| • Biomasa Disponible: | 40 kg/d (1,2 t/mes ó 14,5 t/a) |
| • Sólidos Volátiles: | 5 kg/d (150 kg/mes ó 1,8 t/a) |
| • Potencial de Biogás: | 1.300 L/d (40.000 L/mes ó 475.000 L/a) |
| • Contenido Energético: | 7,2 kWh/d (215 kWh/mes ó 2.600 kWh/a) |
| • Equivalente en Diesel (1 kWh = 0,1 L): | 0,7 L/d (20 L/mes ó 250 L/a) |
| • Equivalente en Gas licuado (1 kWh = 78 g): | 0,6 kg/d (18 kg/mes ó 220 kg/a) |

Tecnologías Pertinentes e Ingeniería Conceptual

Tras presentar las diferentes tecnologías disponibles para la digestión del estiércol bovino, se seleccionaron las tres tecnologías más pertinentes a la realidad de pequeños productores lecheros. Las tecnologías seleccionadas fueron el digestor de domo fijo, también llamado tipo "Chino", digestor tradicional con cúpula de polietileno y el digestor de estructura flexible. Finalmente se seleccionó el digestor tipo Chino como la mejor alternativa posible, presentando el diseño a nivel de ingeniería conceptual para los tres tamaños de planta seleccionados:

- Biodigestor 1: 5 m³
- Biodigestor 2: 10 m³
- Biodigestor 3: 15 m³

Para la construcción de las partes de una planta de biogás se propone hacerlas en hormigón armado o ladrillos, de acuerdo las condiciones particulares de cada sitio.

- Tanque de acopio/mezcla.
- Alimentación y descarga del digestor.
- Digestor.
- Almacenamiento de biogás.
- Cañerías de biogás, válvulas y accesorios.
- Remoción de sulfuro de hidrógeno.
- Purgador de condensado.

Externalidades

Se identificaron y valorizaron en la medida de lo posible las diversas externalidades que traen los biodigestores, destacando un mejoramiento de la calidad de las tierras, la disminución de olores, higienización, la disminución de deforestación y la reducción de los gases efecto invernadero, entre otros.

Por lo general, proyectos de biodigestores para pequeños productores no deberían ingresar al SEIA, ni contar con un programa de monitoreo de sus efluentes, considerando las características de tales proyectos, el espíritu de la ley (aplicabilidad a proyectos "industriales") y los costos asociados a la tramitación, que harían inviable cualquier sistema de tratamiento.

No obstante lo anterior, la valoración monetaria de algunas de las externalidades es compleja, y requiere de estudios e investigaciones adicionales. Los impactos identificados y medidos en esta ocasión corresponden a aquellos que habitualmente se incorporan en proyectos de esta naturaleza: a) Uso de biogás como fuente energética, b) Utilización del efluente como fertilizante y c) Reducción de gases de efecto invernadero.

Se ha demostrado, que, en el caso de biodigestores de pequeño tamaño, éstas dos últimas externalidades son despreciables en su magnitud, razón por la cual en la estimación del impacto socioeconómico se consideran solamente los beneficios del uso de biogás como sustituto de gas licuado.

Evaluación Socioeconómica

Para que los proyectos sean económicamente rentables desde el punto de vista de una evaluación privada, requieren de un subsidio que cubra casi el 100% del monto de inversión en el caso de un biodigestor de 5 m³, mientras que para un biodigestor de 10 m³ el subsidio debe alcanzar dos tercios de la inversión y en el caso de un biodigestor de 15 m³ el subsidio correspondería a aproximadamente la mitad del monto de inversión.

En este caso, el costo unitario que permite autofinanciar el biodigestor a través de ahorro en gas licuado fue calculada entre \$1.535 (Vd 15 m³) y \$3.300 (Vd 5 m³) por kilo de gas licuado, dependiendo de la tasa de descuento aplicable y el volumen del biodigestor.

En el caso de una evaluación social, este escenario no cambia sustancialmente. Para un biodigestor de 5 m³, el subsidio debe cubrir el 85% del monto de inversión, mientras que para los biodigestores de 10 m³ y 15 m³ el subsidio debe alcanzar 54% y 39% de la inversión, respectivamente. El costo unitario que permite autofinanciar el biodigestor a través de ahorro en gas licuado fue calculada entre \$1.435 (Vd 15 m³) y \$2.225 (Vd 5 m³) por kilo de gas licuado, dependiendo del volumen del biodigestor.

Bajo los supuestos de un precio de gas licuado de \$1.000/kg, y un costo de capital de 15%; el costo adicional en que debe incurrir el productor es del orden de \$1,6 millones en el caso de un biodigestor de 5 m³ y en el caso de biodigestores de 10 m³ y 15 m³, este valor aumenta a \$2,2 millones y \$2,6 millones respectivamente.

Desde el punto de vista social, esta misma inversión significa un costo social o real del orden de \$1,3 millones. Por lo anterior, en este caso particular, un subsidio sólo se justificará si los impactos positivos no-valorados en esta evaluación superan dicho costo social. El monto del subsidio máximo es el resultado del exceso de beneficios sociales sobre \$1,3 millones.

En concordancia con lo anterior, el efecto que tendría un Programa Piloto de Biodigestores sobre la relación comercial con la agroindustria y en la estructura de costos del pequeño productor, dependerá exclusivamente del subsidio a entregar.

A juicio del consultor, y en base a los antecedentes disponibles, no es económicamente conveniente desde el punto de vista social o de país, impulsar la ejecución de la iniciativa.

Implicancias para un Programa Piloto

Se han identificado cuatro principales factores que influyen al éxito de un Programa Piloto de Diseminación de Biodigestores:

- Participación: Es importante involucrar desde un comienzo a los pequeños productores (y sus organizaciones) como único actor relevante.
- Ubicación: Privilegiar predios con favorables condiciones climáticas.
- Financiamiento: Establecer un subsidio para la construcción de los biodigestores.
- Proveedores: Crear condiciones favorables para disminuir los costos de transacción y generar márgenes atractivos para los pocos proveedores que cuentan con suficiente experiencia.

11 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agricultura Familiar Campesina y Sector Lechero

- Apey Guzmán, A.; Barril García, A. (eds.) (2006): Pequeña Agricultura en Chile. Rasgos socioproductivos, institucionalidad y clasificación territorial para la innovación.
- Consorcio Lechero (2006): Evolución de la producción de leche en los últimos 10 años. 12: pág. 9-10.
- Esnaola Lewis, Víctor M. (2008): Lácteos. Resultados de 2007 y perspectivas para 2008.
- INDAP (sin año, probablemente 2006): Presentación "Visión Nacional del Fomento al Rubro Bovinos de Leche de INDAP".
- INE (2005): Ganadería Bovina en la Agricultura Familiar Campesina.
- INE (2007): Industria Láctea Menor. Informe Anual 2006.
- INE-INDAP (2008): Agricultura Familiar Campesina: Lecherías, Estudio Zona Sur, 2006-2007.
- Instituto de Investigación Agropecuaria. Centro regional de investigación INIA Remece (2006): Manual de producción de leche para pequeños y medianos productores, Boletín 148, Ministerio de Agricultura, Osorno.
- ODEPA (2005): Agricultura Chilena - Características Sociales de los Productores según Tipología, Sexo y Localización Geográfica. Documento de Trabajo N°9, Marzo 2005.
- ODEPA (2009): Boletín de la Leche. Año 2008.
- Pontificia Universidad Católica de Chile (2006): Pequeños Productores Lecheros: Estado Actual y sus Proyecciones en las Regiones del Bío Bío, de La Araucanía y de Los Lagos.

Manejo de Purines/Buenas Prácticas

- Comisión Nacional de Buenas Prácticas (2003): Especificaciones Técnicas de Buenas Prácticas Agrícolas – Bovinos de Lechería.
- INDAP/SITEC (sin año): Especificaciones Técnicas de Buenas Prácticas Agrícolas para Bovinos de Leche.
- INTEC, SISS, SESMA, SAG; CORFO (2001): Guía de Manejo y Buenas Prácticas para el Sector Lechero de la Zona Central.
- SAG (2006): Diagnóstico de la Problemática Ambiental de los Residuos Generados por la Producción de Aves y Vacunos de Leche en Chile y Capacitación en la Evaluación de Planteles Pecuarios. Informe Final.
- Salazar y otros (2003): Prospección del manejo y utilización de efluentes de lecherías en el sur de Chile, Archivos Med. Veter. 35(2) Universidad Austral de Chile.
- SISS, MINAGRI (2006): Guía para el Manejo de Purines en Lecherías.

Condiciones Climáticas

- Dirección Meteorológica de Chile.

Biodigestores

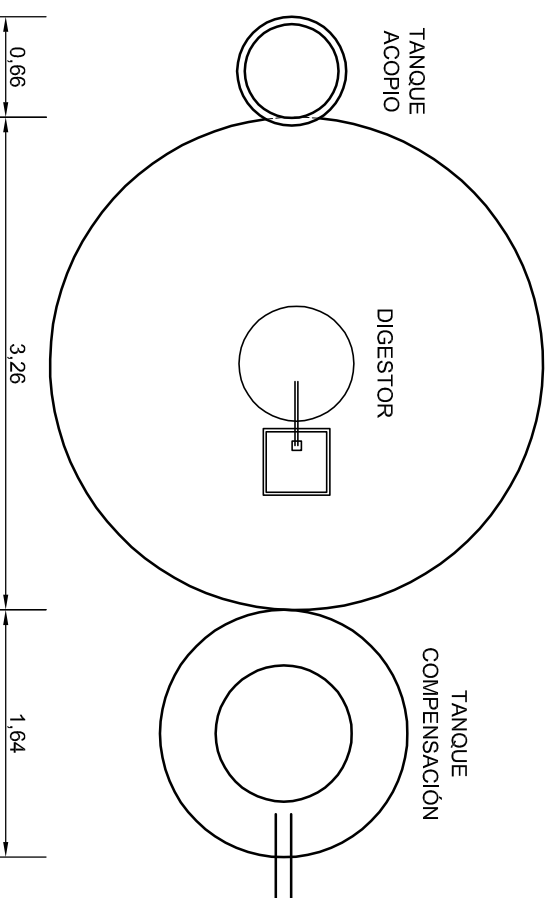
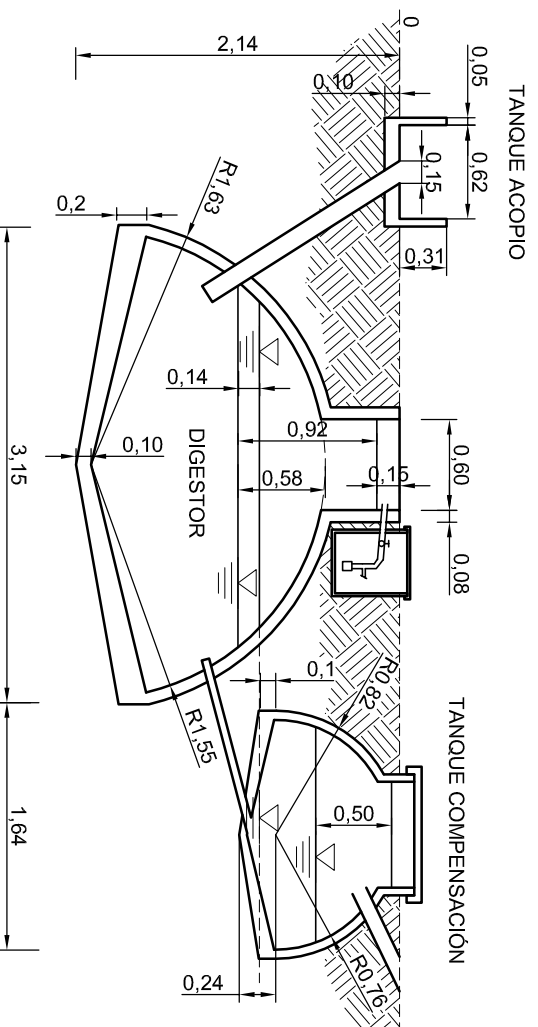
- Botero, R.; Preston T. (1987): Biodigestor de bajo Costo para la Producción de Combustible y Fertilizante a partir de Excretas. Manual para su Instalación, Operación y Utilización.
- Eder, B.; Schulz, H. (2006): Biogas Praxis.

- Food and Agriculture Organization of the United Nations (1992): Biogas processes for sustainable development, FAO Agricultural Services Bulletin 95.
- Fundación Hábitat Colombia (2005): Biodigestores, una alternativa a la autosuficiencia energética y de biofertilizantes.
- GTZ-GATE Information and Advisory Service on Appropriate Technology (1999): Biogas Digest - Volumes I, II, III y IV.
- Instituto de Energía y Medio Ambiente (2004): Handreichung Biogasgewinnung und -nutzung, Alemania.
- Lusk, P. (1994): Methane Recovery from Animal Manures: A current Opportunities Casebook, Volume I.
- Sasse, L. (1988): Biogas Plants. Publicación del Deutsches Zentrum für Entwicklungstechnologien - GATE.
- Sasse, L.; Kellner, Ch. y Kimaro, A. (1991): Improved Biogas Unit for Developing Countries. Publicación del Deutsches Zentrum für Entwicklungstechnologien - GATE.
- Werner, U.; Stöhr, U.; Hees, N. (1989): Biogas plants in animal husbandry.

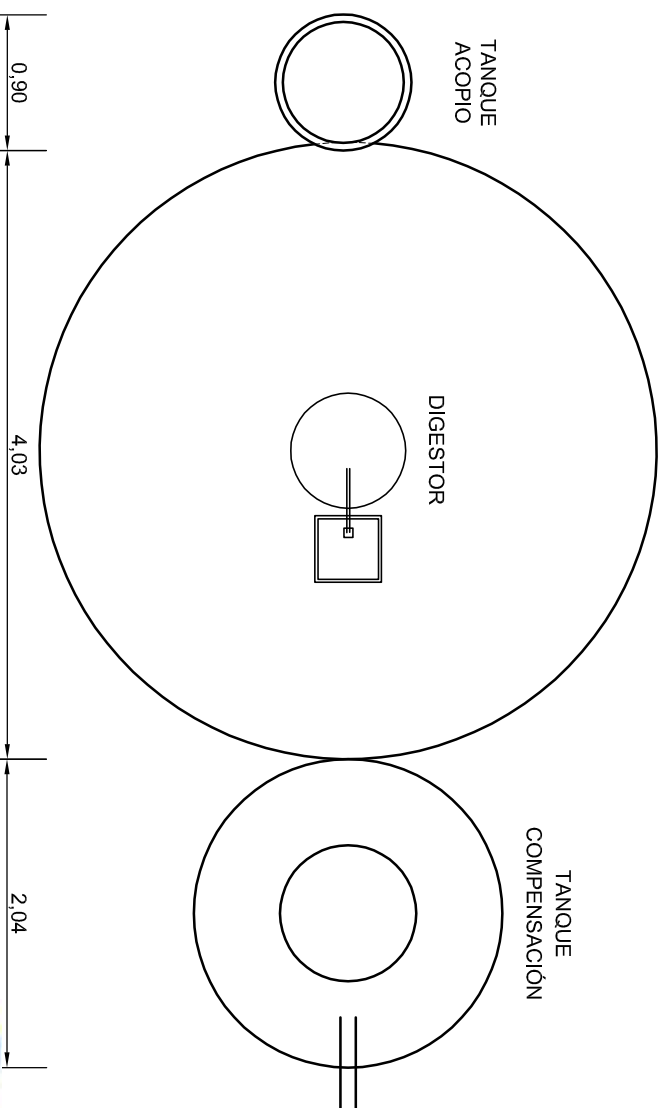
Otros

- CNE/GTZ (2007): Potencial de Biogás. Identificación y Clasificación de los distintos Tipos de Biomasa disponibles en Chile para la Generación de Biogás, Septiembre 2007.
- CORFO (2008): Renewables and the CDM in Chile. Investment opportunities and project financing. Project's Directory.
- Iglesias Casanueva, R. (2008): Biomasa, agroenergía, bioenergía, eficiencia energética, ahorro energético: ¿tienen sentido?. Publicación de la Oficina de Estudios y Políticas Agrarias – ODEPA.
- GORE Región de Los Lagos - Departamento de Ordenamiento Territorial (sin año): Estudio Tendencias Pluviométricas Décima Región Norte.
- MIDEPLAN (2007): Precios Sociales para la Evaluación de Proyectos. <http://sni.mideplan.cl/links/files/herramientas/precios-sociales/209.pdf>

CROQUIS BIODIGESTOR TIPO DE 5 m³ Escala 1:50

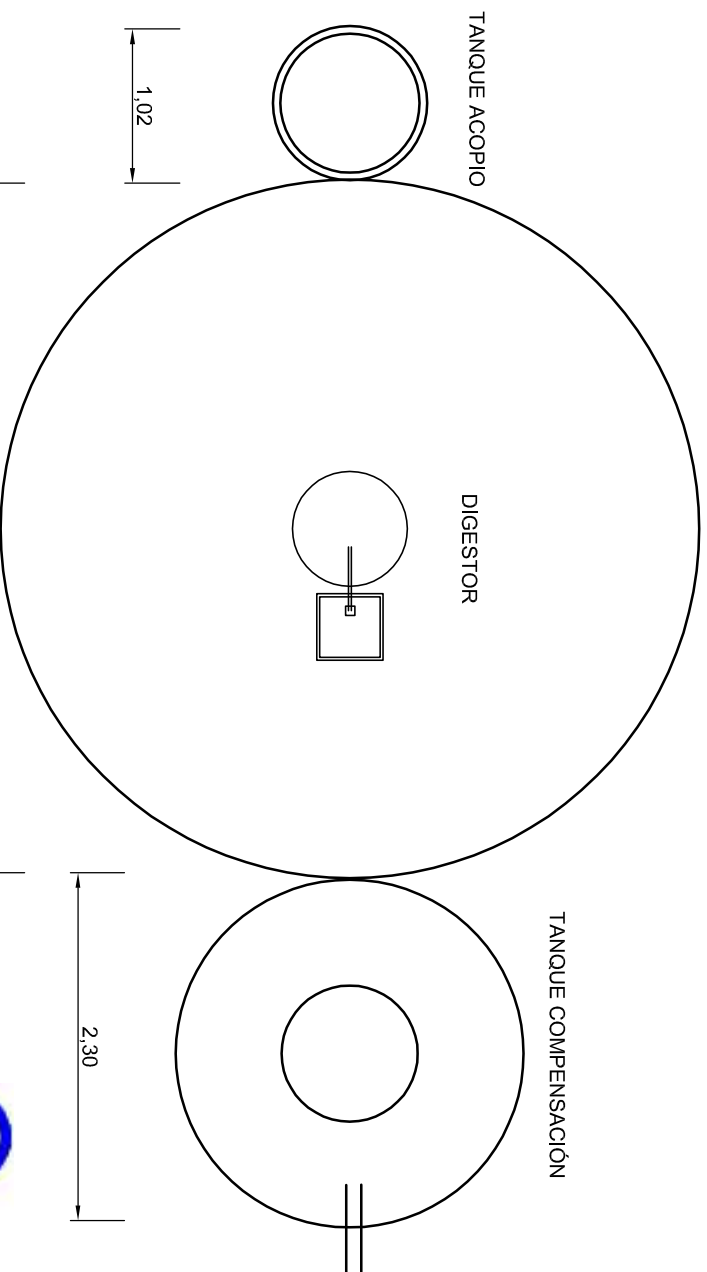


Escala 1:50



Fuente: Elaboración propia

Esca|a 1:50



P 5030 INF N°3 Fig. A-3 EMI A

ANEXO A-1:
ÑUBLE. EXISTENCIA DE VACAS POR TIPO, SEGÚN COMUNA

COMUNAS	VACAS TOTALES (cabezas)	VACAS LECHERAS		
		Total (cabezas)	Estrato AFC (cabezas)	AFC %
San Carlos	13.598	1.890	375	19,8
Bulnes	7.367	2.062	326	15,8
Coihueco	6.212	735	257	35,0
Chillan	5.230	1.023	167	16,3
San Fabián de Alico	1.651	135	88	65,2
Ñiquén	5.163	827	77	9,3
San Ignacio	3.005	566	50	8,8
Pinto	1.692	85	48	56,5
San Nicolás	6.687	368	44	12,0
Chillán Viejo	1.462	112	26	23,2
Quirihue	1.267	18	12	66,7
Ninhue	1.343	15	9	60,0
Pemuco	2.186	69	6	8,7
Coelemu	586	26	1	3,8
El Carmen	3.111	2	1	50,0
Cobquecura	908	3	0	0,0
Portezuelo	322	6	0	0,0
Quillón	347	2	0	0,0
Ránquil	188	7	0	0,0
Trehuaco	399	0	0	0,0
Yungay	2.316	0	0	0,0
Total	65.040	7.951	1.487	18,7

ANEXO A-2:
BÍO BÍO. EXISTENCIA DE VACAS POR TIPO, SEGÚN COMUNA

COMUNAS	VACAS TOTALES (cabezas)	VACAS LECHERAS		
		Total (cabezas)	Estrato AFC (cabezas)	AFC %
Los Ángeles	32.120	20.133	3.824	19,0
Negrete	3.272	2.138	1.147	53,6
Mulchén	9.644	2.273	772	34,0
Santa Bárbara	7.004	904	362	40,0
Laja	2.843	608	278	45,7
Cabrero	6.176	1.026	262	25,5
Yumbel	3.183	815	100	12,3
Quilleco	5.207	1.687	61	3,6
Alto Biobío	5.137	59	43	72,9
Nacimiento	1.405	54	37	68,5
San Rosendo	159	68	20	29,4
Quilaco	2.718	23	15	65,2
Antuco	745	14	12	85,7
Tucapel	2.821	6	2	33,3
Total	82.434	29.808	6.935	23,3

ANEXO A-3:
ARAUCO. EXISTENCIA DE VACAS POR TIPO, SEGÚN COMUNA

COMUNAS	VACAS TOTALES (cabezas)	VACAS LECHERAS		
		Total (cabezas)	Estrato AFC (cabezas)	AFC %
Arauco	5.550	2.377	1.405	59,1
Lebu	2.987	368	235	63,9
Curanilahue	728	384	232	60,4
Cañete	6.153	261	168	64,4
Los Álamos	1.829	106	87	82,1
Contulmo	1.132	88	81	92,0
Tirúa	3.090	40	27	67,5
Total	21.469	3.624	2.235	61,7

ANEXO A-4:
MALLECO. EXISTENCIA DE VACAS POR TIPO, SEGÚN COMUNA

COMUNAS	VACAS TOTALES (cabezas)	VACAS LECHERAS		
		Total (cabezas)	Estrato AFC (cabezas)	AFC %
Collipulli	3.931	540	306	56,7
Ercilla	3.465	1.050	293	27,9
Traiguén	4.849	513	281	54,8
Curacautín	11.338	351	191	54,4
Renaico	3.359	1.357	135	9,9
Lonquimay	10.860	177	99	55,9
Angol	4.816	1.292	97	7,5
Purén	2.908	156	96	61,5
Los Sauces	5.003	91	57	62,6
Lumaco	2.671	43	29	67,4
Victoria	12.099	1.805	9	0,5
Total	65.299	7.375	1.593	21,6

ANEXO A-5:
CAUTÍN. EXISTENCIA DE VACAS POR TIPO, SEGÚN COMUNA

COMUNAS	VACAS TOTALES (cabezas)	VACAS LECHERAS		
		Total (cabezas)	Estrato AFC (cabezas)	AFC %
Pitrufquén	12.251	5.017	1.541	30,7
Toltén	9.590	1.327	825	62,2
Villarrica	14.710	1.903	585	30,7
Loncoche	9.992	2.781	494	17,8
Freire	23.915	8.833	467	5,3
Teodoro Schr	14.599	838	464	55,4
Lautaro	9.798	1.198	413	34,5
Vilcún	24.370	7.280	390	5,4
Gorbea	8.733	2.295	323	14,1
Curarrehue	4.254	436	256	58,7
Melipeuco	4.845	345	244	70,7
Pucón	7.088	635	231	36,4
Padre Las Ca	5.648	1.063	164	15,4
Nueva Imperi	6.960	293	146	49,8
Temuco	3.773	496	130	26,2
Cunco	17.844	1.137	96	8,4
Carahue	10.079	119	84	70,6
Galvarino	2.522	160	56	35,0
Saavedra	4.908	43	13	30,2
Perquenco	2.298	591	12	2,0
Cholchol	2.108	20	11	55,0
Total	200.285	36.810	6.945	18,9

ANEXO A-6:
VALDIVIA. EXISTENCIA DE VACAS POR TIPO, SEGÚN COMUNA

COMUNAS	VACAS TOTALES (cabezas)	VACAS LECHERAS		
		Total (cabezas)	Estrato AFC (cabezas)	AFC %
Río Bueno	66.115	44.261	6.233	14,1
Paillaco	29.518	19.185	3.037	15,8
La Unión	22.253	16.340	2.298	14,1
Lago Ranco	9.513	3.178	1.082	34,0
Máfil	12.902	9.279	920	9,9
Los Lagos	29.116	15.894	800	5,0
Futrono	19.800	9.627	720	7,5
Valdivia	6.496	2.269	287	12,6
Panguipulli	18.915	5.951	246	4,1
Mariquina	13.438	5.943	241	4,1
Lanco	7.388	1.888	157	8,3
Corral	1.230	155	116	74,8
Total	236.684	133.970	16.137	12,0

ANEXO A-7:
OSORNO. EXISTENCIA DE VACAS POR TIPO, SEGÚN COMUNA

COMUNAS	VACAS TOTALES (cabezas)	VACAS LECHERAS		
		Total (cabezas)	Estrato AFC (cabezas)	AFC %
Río Negro	30.647	25.233	2.688	10,7
Purranque	36.983	24.633	2.507	10,2
Osorno	33.198	24.510	2.049	8,4
Puyehue	25.561	15.674	1.796	11,5
Puerto Octay	35.712	29.136	1.676	5,8
San Pablo	15.986	10.336	812	7,9
San Juan de la Costa	3.848	858	109	12,7
Total	181.935	130.380	11.637	8,9

ANEXO A-8:
LLANQUIHUE. EXISTENCIA DE VACAS POR TIPO, SEGÚN COMUNA

COMUNAS	VACAS TOTALES (cabezas)	VACAS LECHERAS		
		Total (cabezas)	Estrato AFC (cabezas)	AFC %
Los Muermos	30.657	21.624	6.032	27,9
Maullín	12.097	4.565	2.505	54,9
Fresia	17.424	8.981	2.157	24,0
Puerto Montt	8.217	3.920	1.423	36,3
Frutillar	27.712	20.108	654	3,3
Cochamó	3.341	1.061	622	58,6
Puerto Varas	17.838	9.941	259	2,6
Calbuco	4.018	580	239	41,2
Llanquihue	14.588	8.497	222	2,6
Total	135.892	79.277	14.113	17,8

ANEXO A-9:
CHILOÉ. EXISTENCIA DE VACAS POR TIPO, SEGÚN COMUNA

COMUNAS	VACAS TOTALES (cabezas)	VACAS LECHERAS		
		Total (cabezas)	Estrato AFC (cabezas)	AFC %
Ancud	17.458	9.950	5.245	52,7
Quemchi	3.796	688	505	73,4
Chonchi	5.658	632	268	42,4
Dalcahue	3.338	250	224	89,6
Castro	2.331	243	58	23,9
Quellón	3.198	390	19	4,9
Queilén	1.284	12	10	83,3
Puqueldón	622	11	9	81,8
Curaco de Vélez	1.340	7	7	100,0
Quinchao	2.653	3	3	100,0
Total	41.678	12.186	6.348	52,1

Bovinos de leche y carne								
Variable	Unidad	4ª región	5ª región		RM			
		Hcda. Huentelauquén Choapa	Agrícola Sta. Sara Casablanca	Las Cruzadas Quillota	Ariztía Longovilo	Ariztía Guanaco Melipilla	Agrícola Los Rey Pelvín Peñaflor	Pahuilmo Mallarauco
		Lechería	Lechería	Lechería	Engorda	Engorda	Lechería	Lechería
pH (1:5)		9,0	6,8	6,6	8,0	7,6	8,6	7,7
CE (1:5)	dS/m	15,2	8,5	9,7	11,1	4,1	7,4	6,3
MO	%	76,2	84,5	90,9	80,7	19,3	70,7	76,7
CO	%	41,9	46,5	50	44,4	10,6	38,9	42,2
N Total	%	3,87	2,81	2,95	3,12	0,79	3,15	2,07
C/N		10,8	16,5	16,9	14,2	13,4	12,3	20,4
N-NO ₃	ppm	1.261	771	917	1.882	292	1.619	708
N-NH ₄	ppm	780	130	400	2.296	107	715	456
P	%	2,8	1,97	2,52	1,15	0,88	0,91	0,72
Sólidos Totales	%	22	18	14	27	68	27	26
Sólidos Volátiles	%	72	80	86	80	19	70	76
Humedad	%	78	82	86	73	32	73	74
Materia Seca	%	22	18	14	27	68	27	26
Densidad	gr/cc							
Coliformes Totales	NMP/g	1,6*10 ⁷	1,4*10 ⁶	1,7*10 ⁶	3*10 ⁶	0,2	3*10 ⁷	3*10 ⁷
Coliformes Fecales	NMP/g	1,6*10 ⁷	1,1*10 ⁶	1,3*10 ⁶	1,1*10 ⁶	< 0,2	3*10 ⁷	3*10 ⁷
Salmonella	NMP/g	< 3						

Bovinos de leche y carne							
Variable	Unidad	6ª región					
		Rinconada Quicharco Chimbarongo	La Macarena Chimbarongo	La Macarena Chimbarongo	Soc. Agr. Puente Negro San Fernando	Soc. Agr. Constanza San Fernando	Esc. Agr. Las Garzas Chimbarongo
		Lechería	Lechería	Engorda	Engorda	Engorda	Lechería
pH (1:5)		6,7	6,9	7,5	8,2	8,2	7,0
CE (1:5)	dS/m	6,2	4,8	12,7	10,6	12,5	7,8
MO	%	86,7	43,3	59,3	73,5	74,0	90,4
CO	%	47,7	23,8	32,6	40,4	40,7	49,7
N Total	%	2,48	1,36	1,44	2,27	2,56	3,42
C/N		18,4	16,8	21,6	17,1	15,2	14,0
N-NO ₃	ppm	840	311	1.028	781	1.705	1.160
N-NH ₄	ppm	280	220	180	50	560	820
P	%	2,4	1,6	2,1	2,3	1,5	2,5
Sólidos Totales	%	17	26	29	30	20	15
Sólidos Volátiles	%	82	41	56	70	70	85
Humedad	%	83	74	71	70	80	85
Materia Seca	%	17	26	29	30	20	15
Densidad	gr/cc						
Coliformes Totales	NMP/g	1,6*10 ⁶	5*10 ⁶	1,3*10 ⁶	2,8*10 ⁶	5*10 ⁵	9*10 ⁵
Coliformes Fecales	NMP/g	1,6*10 ⁶	5*10 ⁶	1,3*10 ⁶	2,8*10 ⁶	5*10 ⁵	5*10 ⁵
Salmonella	NMP/g						

Bovinos de leche y carne									
Variable	Unidad	7ª región				8ª Región			
		Viña San Rafael San Rafael	Puangué Arriba San Rafael	José Jaramillo San Rafael	San Ricardo San Rafael	Rondadero Chillán	El Risquillo	La Cantera	Tucumán - V. Jerez
		Engorda	Lechería	Lechería	Lechería	Lechería	Lechería	Lechería	Carne
pH (1:5)		7,0	8,3	7,3	8,7	6,5	6,8	9	6,4
CE (1:5)	dS/m	4,2	3,0	7,5	8,2	1,5	13,7	1,47	12,9
MO	%	73,8	53,5	81,8	58,5	0,2	2,0	12,0	4,3
CO	%	40,6	29,4	45	32,2	0,12	1,1	6,7	2,36
N Total	%	1,78	0,94	1,15	1,46	0,03	0,18	0,46	0,38
C/N		22,8	31,3	39,1	22,1	4	6,1	14,6	6,2
N-NO ₃	ppm	365	239	701	743	21	239	308	406
N-NH ₄	ppm	803	380	732	359	27	917	133	1.262
P	%	1,01	0,64	0,76	0,88	0,008	0,04	0,45	0,08
Sólidos Totales	%	25	76	20	97	0,24	2,72	95	6,9
Sólidos Volátiles	%	73	53	81	58	57,7	69,8	12	83
Humedad	%	75	24	80	3				
Materia Seca	%	25	76	20	97				
Densidad	gr/cc					1,01	1,03		1,045
Coliformes Totales	NMP/g	5*10 ⁶	1,7*10 ⁵	5*10 ⁶	1,1*10 ⁴	1.3 x 10 ⁵	3.0 x 10 ⁵		2.2 x 10 ⁶
Coliformes Fecales	NMP/g	5*10 ⁶	1,7*10 ⁵	5*10 ⁶	1,1*10 ⁴	1.3 x 10 ⁵	2.3 x 10 ⁵		1.4 x 10 ⁶
Salmonella	NMP/g								

Bovinos de leche y carne

Variable	Unidad	9ª Región (Purines)						
		Sta. Teresa	Fernando Cortéz	La Hiedra	Sta. Rosalia	Carillanca	Huilquilco	Campamento La Quila
		Lechería	Lechería	Lechería	Lechería	Lechería	Lechería	Lechería
pH (1:5)		7,1	6,9	6,7	6,6	6,7	6,8	7,5
CE (1:5)	dS/m	0,2	4,3	5,6	15,5	0,9	16,4	4,6
MO	%	0,0	0,3	4,9	7,0	0,2	5,0	0,1
CO	%	0,002	0,18	2,67	3,84	0,11	2,77	0,06
N Total	%	0,02	0,04	0,07	0,45	0,02	0,37	0,04
C/N		0,1	4,5	38,1	8,5	5,5	7,5	1,5
N-NO ₃	ppm	2	61	54	673	8	578	37
N-NH ₄	ppm	12	241	309	1530	32	1575	253
P	%	0,00008	0,0094	0,018	0,085	0,002	0,082	0,0071
Sólidos Totales	%	0,1	0,5	3,1	9	1,9	6,7	0,3
Sólidos Volátiles	%	41,7	55,1	87,3	69,8	76,4	64,3	31,1
Humedad	%	99,9	99,5	96,9	91	98,1	93,3	99,7
Materia Seca	%	0,1	0,5	3,1	9	1,9	6,7	0,3
Densidad	gr/cc	0,99	0,97	0,95	1	0,96	0,98	0,97
Coliformes Totales	NMP/g	1.4×10^3	5.0×10^4	5.0×10^5	3.0×10^5	8.0×10^4	1.3×10^6	1.3×10^4
Coliformes Fecales	NMP/g	3.0×10^2	5.0×10^4	3.0×10^5	3.0×10^5	8.0×10^4	5.0×10^5	8.0×10^3
Salmonella	NMP/g							

Bovinos de leche y carne

Variable	Unidad	10° Región (Purines)						
		Remehue 1	Remehue 2	Remehue 3	Remehue 4	Remehue 5	Remehue 6	Remehue 7
		Lechería	Lechería	Lechería	Lechería	Lechería	Lechería	Lechería
pH (1:5)		7,41	7,31	6,53	7,22	6,92	7,17	7,27
CE (1:5)	dS/m	3,65	11,2	17,4	13,5	8,14	5,48	5,52
MO	%	0,16	0,64	5,35	2,04	1,03	0,29	0,2
CO	%	0,09	0,37	3,1	1,19	0,6	0,17	0,12
N Total	%	0,026	0,094	0,258	0,162	0,065	0,058	0,032
C/N		3,5	3,9	11,9	7,4	9,2	2,9	3,8
N-NO ₃	ppm	10	94	393	314	112	68	56
N-NH ₄	ppm	142	518	1093	711	262	232	237
P	%	0,008	0,024	0,077	0,019	0,008	0,012	0,017
Sólidos Totales	%	0,24	1,26	7,61	2,79	1,32	0,72	0,38
Sólidos Volátiles	%	50	63,2	76,6	71,4	70	63,6	50
Humedad	%							
Materia Seca	%							
Densidad	gr/cc	0,98	0,94	0,97	0,96	0,95	0,97	0,94
Coliformes Totales	NMP/g	2.3×10^3	5.0×10^3	9.0×10^7	2.2×10^4	5.0×10^4	2.8×10^4	3.0×10^3
Coliformes Fecales	NMP/g	2.3×10^3	5.0×10^3	9.0×10^7	2.2×10^4	5.0×10^4	5.0×10^3	3.0×10^3
Salmonella	NMP/g							

OFICINA DE ESTUDIOS Y POLITICAS AGRARIAS (ODEPA)

ESTUDIO PARA LA EVALUACION SOCIOECONOMICA Y AMBIENTAL DE TRES PROTOTIPOS DE BIODIGESTORES EN PREDIOS DE PEQUEÑOS PRODUCTORES LECHEROS

INFORME FINAL

ANEXO C - CUMPLIMIENTO DE LA NORMATIVA AMBIENTAL

TABLA VERSIONES						
Doc	Fecha	Autor	Firma	Aprobador	Firma	Descripción de cambios
EMI A	07-01-09	Gerhard Schleenstein		Gerhard Schleenstein		
EMI B	16-02-09	Gerhard Schleenstein		Gerhard Schleenstein		

1 PROCEDIMIENTO DE CALIFICACIÓN DE ESTABLECIMIENTO INDUSTRIAL (PCEI)

A fin de evaluar si un productor de leche requiere implementar un sistema de tratamiento de RILes para cumplir la normativa de emisión correspondiente, es necesario calificar su proceso industrial bajo la condición de Simple Actividad Económica o Establecimiento Industrial.

Deben cumplir las disposiciones normativas las actividades económicas que superen determinadas cargas contaminantes en sus efluentes, quienes son calificadas como un "Establecimiento Industrial", en el caso que la descarga se realice a sistemas de alcantarillado o "Fuente Emisora" en el caso de descargas a cursos superficiales.

Por otro lado, si el Procedimiento de Calificación Industrial (PCEI) arroja como resultado que la planta califica como Simple Actividad Económica no es necesario para esa industria implementar un sistema de tratamiento para su efluente.

Un Establecimiento Industrial es aquél en el que se realiza una actividad económica donde se produce una transformación de la materia prima o materiales empleados, dando origen a nuevos productos, o bien, en que sus operaciones de fraccionamiento, manipulación o limpieza, no produce ningún tipo de transformación en su esencia. Este concepto comprende a industrias, talleres artesanales y pequeñas industrias que descargan efluentes con una carga contaminante media diaria superior al equivalente a las aguas servidas de una población de 100 o 200 personas.

Una Fuente Emisora es un establecimiento que descarga residuos líquidos a uno o más cuerpos de agua receptor, como resultado de su proceso, actividad o servicio, con una carga contaminante media diaria o de valor característico superior en uno o más de los parámetros que la Norma indica.

Para efectos de determinar si se cumplen las condiciones descritas, cada establecimiento debe determinar su carga contaminante, para lo cual la Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS) ha colocado a disposición de los interesados el Procedimiento de Calificación Industrial (PCEI), mediante cuya aplicación se permite concluir si la actividad industrial es o no generadora de RILes y, como tal, obligada al cumplimiento de la normativa o, en caso contrario, considerarse exenta de la obligación. La Superintendencia no emite certificados de calificación industrial, ya se trata de una actividad que debe ser directamente realizada por el industrial, como una primera etapa básica, para saber si debe o no dar cumplimiento a la ley.

2 PERTINENCIA AL SISTEMA DE EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL

La Constitución Política de la República consagra y garantiza en su artículo 19 N° 8, "*El derecho a vivir en un medio ambiente libre de contaminación*", teniendo el Estado el deber de velar por que este derecho no se vea afectado.

Esta garantía se debe entender en el sentido de que el Estado debe cuidar que los niveles de contaminación que la ley ha definido se respeten. Este significa que los valores de las concentraciones establecidas en las normas de calidad y de emisión se cumplan.

A su vez dentro del cumplimiento de este deber, encomendado por la carta fundamental el año 1994, se publica la Ley N° 19.300, Sobre Bases Generales del Medio Ambiente.

Dentro de los instrumentos de gestión ambiental establecidos en la Ley N° 19.300, de Bases del Medio Ambiente, se encuentra el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA), el cual corresponde al procedimiento a cargo de la Comisión Nacional o Regional del Medio Ambiente (CONAMA/COREMA), según corresponda. Por medio de la evaluación se resuelve si el proyecto cumple con las exigencias ambientales y normas vigentes. En caso positivo, la CONAMA o COREMA, según sea el caso, dicta una resolución que califica ambientalmente el proyecto, certificando que se cumplen todos los requisitos ambientales aplicables, no pudiendo ningún organismo del Estado negar las autorizaciones ambientales pertinentes.

La resolución establecerá, cuando corresponda, las condiciones o exigencias ambientales que deberán cumplirse para ejecutar el proyecto y aquéllas bajo las cuales se otorgarán los permisos que de acuerdo con la legislación deben emitir los organismos del Estado.

Según el artículo 8 de la Ley N° 19.300, los proyectos o actividades señalados en el artículo 10 de la misma, no podrán ejecutarse sin su evaluación ambiental previa.

El artículo 10, de la Ley, y 3 del Reglamento del SEIA (D.S. MINSEGPRES N° 95/02) señalan dentro de los proyectos que deben efectuar una evaluación ambiental previa, los siguientes:

“Artículo 3.- Los proyectos o actividades susceptibles de causar impacto ambiental, en cualesquiera de sus fases, que deberán someterse al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental, son los siguientes:

o) Proyectos de saneamiento ambiental, tales como sistemas de alcantarillado y agua potable, plantas de tratamiento de agua o de residuos sólidos de origen domiciliario, rellenos sanitarios, emisarios submarinos, sistemas de tratamiento y disposición de residuos industriales líquidos o sólidos.

o.7. Sistemas de tratamiento y/o disposición de residuos industriales líquidos, que contemplen dentro de sus instalaciones lagunas de estabilización, o cuyos efluentes tratados se usen para el riego o se infiltren en el terreno, o que den servicio de tratamiento a residuos provenientes de terceros, o que traten efluentes con una carga contaminante media diaria igual o superior al equivalente a las aguas servidas de una población de cien (100) personas, en uno o más de los parámetros señalados en la respectiva norma de descargas líquidas;”

Conforme a lo anterior, la gran mayoría de proyectos de sistemas de tratamiento de purines eventualmente se deberán someter al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental, siempre y cuando que traten efluentes con una carga contaminante media diaria igual o superior al equivalente a las aguas servidas de una población de cien (100) personas, en uno o más de los parámetros señalados en la respectiva norma de descargas líquidas.

Por otra parte, el análisis y revisión ya sea de las Declaración Impacto Ambiental (DIA) o Evaluación de Impacto Ambiental (EIA)¹ por parte de la SISS, se centra en asegurar que el

¹ Por lo general entrarán como Declaración de Impacto Ambiental los proyectos de tratamiento de purines.

proyecto dará cumplimiento a las normas ambientales, lo que es consecuencia de las opciones de manejo de residuos líquidos que el titular del proyecto propone, y de sus características particulares.

3 PLAN DE MONITOREO DE RILES

Una vez que el proyecto obtiene su Resolución de Calificación Ambiental (RCA) favorable y sea implementado en su totalidad, la SISS fija, mediante Resolución suscrita por el Superintendente, el programa de monitoreo correspondiente, estableciendo además la frecuencia de entrega a la SISS de los resultados de dicho proceso de autocontrol. Para ello es necesario que los establecimientos generadores de RILES den aviso por escrito a la SISS, con al menos 90 días de anticipación a la entrada en operación del sistema de tratamiento. Dicha solicitud se debe efectuar de acuerdo con el formato definido por la SISS y disponible en este sitio web.

4 COMPETENCIAS EN LA FISCALIZACIÓN

En régimen de operación normal, sus efluentes deberán dar cumplimiento a las normas respectivas, lo que fiscalizará la SISS, sin perjuicio de las atribuciones de la Autoridad Sanitaria (Servicios de Salud) y la Dirección General de Territorio Marítimo y Marina Mercante (DIRECTEMAR), según corresponda, aparte de las concesionarias sanitarias.

La Superintendencia entiende, en concordancia con DIRECTEMAR, que la jurisdicción de esta última es territorial, vale decir, en sus aguas; y que la jurisdicción de la Superintendencia y de la Autoridad Sanitaria es funcional, es decir, la Autoridad Sanitaria debe intervenir cuando por una descarga de RILES se afecte la salud pública, y la SISS velando por la observancia de las Normas de Emisión vigentes. Adicionalmente, a partir del año 1998, las Concesionarias Sanitarias cumplen el rol fiscalizador sobre las descargas de RILES a sus redes recolectoras de aguas servidas, para hacer valer la normativa que a ese respecto rige desde agosto de dicho año. Este rol ha sido regulado por parte de la SISS a través del Procedimiento de Control y Fiscalización de RILES (PROCOF), el cual establece los procesos involucrados en el ámbito del Control y Fiscalización de RILES que realizan las Empresas Sanitarias.

5 RESUMEN Y CONCLUSIONES

Por lo general, proyectos de biodigestores para pequeños productores no ingresan al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA), ni contarán con un programa de monitoreo de sus efluentes, considerando las características de tales proyectos, el espíritu de la ley (aplicabilidad a proyectos "industriales") y los costos asociados a la tramitación, que haría inviable cualquier sistema de tratamiento.

No obstante lo anterior, los proyectos de biodigestores son afectados por la Ley de Bases Generales de Medio Ambiente y las Normas de Descarga si la carga contaminante diaria es igual o superior al equivalente de 100 personas o si supera el valor característico de aguas servidas domiciliarios, lo que podría darse bajo ciertas circunstancias a partir de proyectos con más de 30 a 50 animales.

A modo de ejemplo, a continuación se presentan los proyectos que han sido ingresados al SEIA por un lado, y los que cuentan con resolución de programa de monitoreo por D.S. 90 y D.S. 46, respectivamente. Ninguno corresponde proyectos de pequeños productores.

Los proyectos que ingresaron al SEIA corresponden a los siguientes tipos:

- o7: Tratamiento de RILes
- I3: Planteles y establos de crianza, lechería y/o engorda de animales => 300 unidades de animal por mas de un mes
- t: Ingreso voluntario

Se desprende la alta complejidad de tramitación de los proyecto, dado que de 17 proyectos presentados, solamente un tercio (6) ha sido aprobado ambientalmente.

TABLA C-1:
PROYECTOS DE TRATAMIENTO DE PURINES INGRESADOS AL SEIA

Proyecto	Región	Tipo	Titular	Monto [MMUS\$]	Fecha Presentación	Estado
SISTEMA DE TRATAMIENTO DE PURINES DE CERDO	Séptima	o7	El Peñón S.A.	0,5000	11-Oct-2005	Desistido
Mejoramiento de los Sistema de Tratamiento de Purines de Cerdo Grupos Nº 17, 18, 19, 20 y 21	RM	t	Agrícola Super Limitada	0,6200	27-Dic-2005	Aprobado
Mejoramiento de los Sistemas de Tratamiento de Purines de Cerdos Grupos Nº 17, 18, 19, 20, y 21	RM	t	Agrícola Super Limitada	1,3000	2-Dic-2005	No Admitido a Tramitacion
Mejoramiento del sistema de Tratamiento de Purines de Cerdo El suspiro 1,2,3 y 4 Peralillo	Sexta	t	Agrícola Super Limitada	2,8475	30-Mar-2004	Aprobado
Mejoramiento del sistema de Tratamiento de Purines de Cerdo Grupos Nº 17, 18 y 19, Sectors Santa Rosa	RM	t	Agrícola Super Limitada	0,4652	7-Oct-2004	Rechazado
Mejoramiento del Sistema de Tratamiento de Purines de Cerdos Grupos Nº 20 y 21, sector Las Palmas	RM	t	Agrícola Super Limitada	0,4642	7-Oct-2004	Rechazado
Mejoramiento Tecnológico Sistema de Tratamiento Purines de Cerdos, sector Tantehue	RM	o7	Luis Fuenzalida Bascuñan	5,0000	4-Abr-2006	No Admitido a Tramitacion
Modificación al proyecto de construcción de biodigestores. Plantel de Cerdos Unidad Santa Matilde, VI Región	Sexta	I3	Agrícola Santa Lucía Ltda.	0,4000	11-Jun-2007	Aprobado
PLANTA PILOTO DE BIOGÁS PARA EL TRATAMIENTO DE PURINES DE ESTABLOS LECHEROS DEL LICEO AGRÍCOLA DE NEGRETE	Octava	o7	Corporación Servicio Evangélico para el Desarrollo (SEPADE)	0,1855	10-Sep-2007	No Admitido a Tramitacion
Proy. de Construc. de Biodigestores para Plantel de Cerdos Unidad Sta. Matilde	Sexta	I3	Agrícola Santa Lucía Ltda.	0,3500	7-Sep-2005	Aprobado
Proyecto de Tratamiento de Purines de Cerdo Mediante Instalación de Biodigestor Anaeróbico AgCert para el Fundo Camarico	Séptima	I3	INVERCO S.A.	0,1500	17-Feb-2006	Desistido
Proyecto de Tratamiento de Purines de Cerdo Mediante Instalación de	Séptima	I3	Agrícola Soler Cortina S.A.	0,3870	17-Feb-2006	Desistido

Proyecto	Región	Tipo	Titular	Monto [MMUS\$]	Fecha Presentación	Estado
Biodigestor Anaeróbico AgCert para el Fundo Los Castaños						
Proyecto de Tratamiento de Purines de Cerdo Mediante Instalación de Biodigestor Anaeróbico AgCert para el Fundo Santa Anita	Séptima	I3	Agrícola Santa Anita Ltda.	0,1560	17-Feb-2006	Desistido
Proyecto MDL: Mejoramiento de Tratamiento de Purines de Cerdo Mediante Biodigestor Anaeróbico AgCert, Plantel Porcino Aguas Claras	V	I3	Agrícola AASA S.A.	0,2500	6-Oct-2006	En Calificación
SISTEMA DE MANEJO Y REUSO DE PURINES EN RIEGO Y FERTILIZACION	V	o7	GABRIEL UNDURRAGA ECHAZARRET A	0,0142	28-Nov-2005	Aprobado
Sistema de Tratamiento Aeróbico de Purines de Cerdo y Tres Nuevos Planteles Destete-Venta en sector La Manga	RM	o7	Agrícola Super Limitada	9,5000	14-Abr-2004	Aprobado
Sistema de Tratamiento de Purines de Cerdo	Séptima	o7	El Peñón S.A.	0,5000	16-Sep-2005	No Admitido a Tramitación

Fuente: Elaboración Propia

TABLA C-2:
EMPRESAS QUE CUENTAN CON PROGRAMA DE MONITOREO

Titular	Región	Norma de Descarga	Clasificador de Actividad Económica
FILOMENA NARVAEZ ELGUETA	V	NORMA 90	Cría de ganado bovino para la producción lechera
FUNDO RINCONADA VICTOR HUGO GOMEZ MORA	X	NORMA 90	Cría de ganado bovino para la producción lechera
FUNDACION AGRO UC	RM	NORMA 90	Cría de ganado bovino para la producción lechera
FERIA GANADERA DE OSORNO	XIV	NORMA 46	Cría de ganado para producción de carne, o como ganado reproductor
FERIA GANADERA DE OSORNO	X	NORMA 90	Cría de ganado para producción de carne, o como ganado reproductor
FERIA GANADERA DE OSORNO	X	NORMA 46	Cría de ganado para producción de carne, o como ganado reproductor
TATTERSALL REMATES S.A.	X	NORMA 46	Cría de ganado para producción de carne, o como ganado reproductor

Fuente: Elaboración Propia

ANEXO D-1: SITUACIÓN "SIN PROYECTO"

BIODIGESTOR 5 M³

Valor Base Gas Licuado	Año											Total	VAC			
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		5%	8%	10%	15%
-800		-104.800	-107.944	-111.182	-114.518	-117.953	-121.492	-125.137	-128.891	-132.758	-136.740	-1.201.415	-916.748	-791.254	-721.416	-583.216
-900		-117.900	-121.437	-125.080	-128.833	-132.697	-136.678	-140.779	-145.002	-149.352	-153.833	-1.351.591	-1.031.342	-890.161	-811.593	-656.118
-1.000		-131.000	-134.930	-138.978	-143.147	-147.442	-151.865	-156.421	-161.113	-165.947	-170.925	-1.501.768	-1.145.935	-989.068	-901.770	-729.020
-1.100		-144.100	-148.423	-152.876	-157.462	-162.186	-167.051	-172.063	-177.225	-182.542	-188.018	-1.651.945	-1.260.529	-1.087.974	-991.947	-801.922
-1.200		-157.200	-161.916	-166.773	-171.777	-176.930	-182.238	-187.705	-193.336	-199.136	-205.110	-1.802.122	-1.375.122	-1.186.881	-1.082.125	-874.824
-1.300		-170.300	-175.409	-180.671	-186.091	-191.674	-197.424	-203.347	-209.448	-215.731	-222.203	-1.952.299	-1.489.716	-1.285.788	-1.172.302	-947.726
-1.400		-183.400	-188.902	-194.569	-200.406	-206.418	-212.611	-218.989	-225.559	-232.326	-239.295	-2.102.475	-1.604.309	-1.384.695	-1.262.479	-1.020.628
-1.500		-196.500	-202.395	-208.467	-214.721	-221.162	-227.797	-234.631	-241.670	-248.920	-256.388	-2.252.652	-1.718.903	-1.483.601	-1.352.656	-1.093.530
-1.600		-209.600	-215.888	-222.365	-229.036	-235.907	-242.984	-250.273	-257.782	-265.515	-273.480	-2.402.829	-1.833.496	-1.582.508	-1.442.833	-1.166.432
-1.700		-222.700	-229.381	-236.262	-243.350	-250.651	-258.170	-265.915	-273.893	-282.110	-290.573	-2.553.006	-1.948.090	-1.681.415	-1.533.010	-1.239.334
-1.800		-235.800	-242.874	-250.160	-257.665	-265.395	-273.357	-281.558	-290.004	-298.704	-307.666	-2.703.183	-2.062.683	-1.780.322	-1.623.187	-1.312.236
-1.900		-248.900	-256.367	-264.058	-271.980	-280.139	-288.543	-297.200	-306.116	-315.299	-324.758	-2.853.360	-2.177.277	-1.879.228	-1.713.364	-1.385.138
-2.000		-262.000	-269.860	-277.956	-286.294	-294.883	-303.730	-312.842	-322.227	-331.894	-341.851	-3.003.536	-2.291.870	-1.978.135	-1.803.541	-1.458.040
-2.100		-275.100	-283.353	-291.854	-300.609	-309.627	-318.916	-328.484	-338.338	-348.488	-358.943	-3.153.713	-2.406.464	-2.077.042	-1.893.718	-1.530.942
-2.200		-288.200	-296.846	-305.751	-314.924	-324.372	-334.103	-344.126	-354.450	-365.083	-376.036	-3.303.890	-2.521.057	-2.175.949	-1.983.895	-1.603.844
-2.300		-301.300	-310.339	-319.649	-329.239	-339.116	-349.289	-359.768	-370.561	-381.678	-393.128	-3.454.067	-2.635.651	-2.274.855	-2.074.072	-1.676.746
-2.400		-314.400	-323.832	-333.547	-343.553	-353.860	-364.476	-375.410	-386.672	-398.273	-410.221	-3.604.244	-2.750.244	-2.373.762	-2.164.249	-1.749.648
-2.470		-323.570	-333.277	-343.275	-353.574	-364.181	-375.106	-386.360	-397.950	-409.889	-422.185	-3.709.367	-2.830.460	-2.442.997	-2.227.373	-1.800.679
-2.600		-340.600	-350.818	-361.343	-372.183	-383.348	-394.849	-406.694	-418.895	-431.462	-444.406	-3.904.597	-2.979.431	-2.571.576	-2.344.603	-1.895.452
-2.700		-353.700	-364.311	-375.240	-386.498	-398.092	-410.035	-422.336	-435.006	-448.057	-461.498	-4.054.774	-3.094.025	-2.670.482	-2.434.780	-1.968.354
-2.800		-366.800	-377.804	-389.138	-400.812	-412.837	-425.222	-437.978	-451.118	-464.651	-478.591	-4.204.951	-3.208.618	-2.769.389	-2.524.957	-2.041.256
-2.900		-379.900	-391.297	-403.036	-415.127	-427.581	-440.408	-453.620	-467.229	-481.246	-495.683	-4.355.128	-3.323.212	-2.868.296	-2.615.134	-2.114.158
-3.000		-393.000	-404.790	-416.934	-429.442	-442.325	-455.595	-469.263	-483.340	-497.841	-512.776	-4.505.305	-3.437.805	-2.967.203	-2.705.311	-2.187.059
-3.100		-406.100	-418.283	-430.831	-443.756	-457.069	-470.781	-484.905	-499.452	-514.435	-529.868	-4.655.481	-3.552.399	-3.066.109	-2.795.488	-2.259.961
-3.200		-419.200	-431.776	-444.729	-458.071	-471.813	-485.968	-500.547	-515.563	-531.030	-546.961	-4.805.658	-3.666.992	-3.165.016	-2.885.665	-2.332.863
-3.300		-432.300	-445.269	-458.627	-472.386	-486.557	-501.154	-516.189	-531.674	-547.625	-564.053	-4.955.835	-3.781.586	-3.263.923	-2.975.842	-2.405.765
-3.400		-445.400	-458.762	-472.525	-486.701	-501.302	-516.341	-531.831	-547.786	-564.219	-581.146	-5.106.012	-3.896.179	-3.362.830	-3.066.019	-2.478.667
-3.500		-458.500	-472.255	-486.423	-501.015	-516.046	-531.527	-547.473	-563.897	-580.814	-598.239	-5.256.189	-4.010.773	-3.461.736	-3.156.196	-2.551.569
-3.600		-471.600	-485.748	-500.320	-515.330	-530.790	-546.714	-563.115	-580.009	-597.409	-615.331	-5.406.365	-4.125.366	-3.560.643	-3.246.374	-2.624.471

Supuestos

Incremento en Gasc 3%

ANEXO D-1: SITUACIÓN "SIN PROYECTO"

BIODIGESTOR 10 M³

Valor Base Gas Licuado	Año											Total	VAC			
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		5%	8%	10%	15%
-800		-209.600	-215.888	-222.365	-229.036	-235.907	-242.984	-250.273	-257.782	-265.515	-273.480	-2.402.829	-1.833.496	-1.582.508	-1.442.833	-1.166.432
-900		-235.800	-242.874	-250.160	-257.665	-265.395	-273.357	-281.558	-290.004	-298.704	-307.666	-2.703.183	-2.062.683	-1.780.322	-1.623.187	-1.312.236
-1.000		-262.000	-269.860	-277.956	-286.294	-294.883	-303.730	-312.842	-322.227	-331.894	-341.851	-3.003.536	-2.291.870	-1.978.135	-1.803.541	-1.458.040
-1.100		-288.200	-296.846	-305.751	-314.924	-324.372	-334.103	-344.126	-354.450	-365.083	-376.036	-3.303.890	-2.521.057	-2.175.949	-1.983.895	-1.603.844
-1.200		-314.400	-323.832	-333.547	-343.553	-353.860	-364.476	-375.410	-386.672	-398.273	-410.221	-3.604.244	-2.750.244	-2.373.762	-2.164.249	-1.749.648
-1.300		-340.600	-350.818	-361.343	-372.183	-383.348	-394.849	-406.694	-418.895	-431.462	-444.406	-3.904.597	-2.979.431	-2.571.576	-2.344.603	-1.895.452
-1.400		-366.800	-377.804	-389.138	-400.812	-412.837	-425.222	-437.978	-451.118	-464.651	-478.591	-4.204.951	-3.208.618	-2.769.389	-2.524.957	-2.041.256
-1.500		-393.000	-404.790	-416.934	-429.442	-442.325	-455.595	-469.263	-483.340	-497.841	-512.776	-4.505.305	-3.437.805	-2.967.203	-2.705.311	-2.187.059
-1.600		-419.200	-431.776	-444.729	-458.071	-471.813	-485.968	-500.547	-515.563	-531.030	-546.961	-4.805.658	-3.666.992	-3.165.016	-2.885.665	-2.332.863
-1.700		-445.400	-458.762	-472.525	-486.701	-501.302	-516.341	-531.831	-547.786	-564.219	-581.146	-5.106.012	-3.896.179	-3.362.830	-3.066.019	-2.478.667
-1.800		-471.600	-485.748	-500.320	-515.330	-530.790	-546.714	-563.115	-580.009	-597.409	-615.331	-5.406.365	-4.125.366	-3.560.643	-3.246.374	-2.624.471
-1.900		-497.800	-512.734	-528.116	-543.960	-560.278	-577.087	-594.399	-612.231	-630.598	-649.516	-5.706.719	-4.354.553	-3.758.457	-3.426.728	-2.770.275
-2.000		-524.000	-539.720	-555.912	-572.589	-589.767	-607.460	-625.683	-644.454	-663.788	-683.701	-6.007.073	-4.583.740	-3.956.270	-3.607.082	-2.916.079
-2.100		-550.200	-566.706	-583.707	-601.218	-619.255	-637.833	-656.968	-676.677	-696.977	-717.886	-6.307.426	-4.812.927	-4.154.084	-3.787.436	-3.061.883
-2.200		-576.400	-593.692	-611.503	-629.848	-648.743	-668.206	-688.252	-708.899	-730.166	-752.071	-6.607.780	-5.042.114	-4.351.897	-3.967.790	-3.207.687
-2.300		-602.600	-620.678	-639.298	-658.477	-678.232	-698.579	-719.536	-741.122	-763.356	-786.256	-6.908.134	-5.271.301	-4.549.711	-4.148.144	-3.353.491
-2.400		-628.800	-647.664	-667.094	-687.107	-707.720	-728.952	-750.820	-773.345	-796.545	-820.441	-7.208.487	-5.500.488	-4.747.524	-4.328.498	-3.499.295
-2.500		-655.000	-674.650	-694.890	-715.736	-737.208	-759.325	-782.104	-805.567	-829.734	-854.626	-7.508.841	-5.729.675	-4.945.338	-4.508.852	-3.645.099
-2.600		-681.200	-701.636	-722.685	-744.366	-766.697	-789.697	-813.388	-837.790	-862.924	-888.811	-7.809.195	-5.958.862	-5.143.151	-4.689.206	-3.790.903
-2.700		-707.400	-728.622	-750.481	-772.995	-796.185	-820.070	-844.673	-870.013	-896.113	-922.997	-8.109.548	-6.188.050	-5.340.965	-4.869.560	-3.936.707
-2.800		-733.600	-755.608	-778.276	-801.625	-825.673	-850.443	-875.957	-902.235	-929.303	-957.182	-8.409.902	-6.417.237	-5.538.778	-5.049.914	-4.082.511
-2.900		-759.800	-782.594	-806.072	-830.254	-855.162	-880.816	-907.241	-934.458	-962.492	-991.367	-8.710.256	-6.646.424	-5.736.592	-5.230.268	-4.228.315
-3.000		-786.000	-809.580	-833.867	-858.883	-884.650	-911.189	-938.525	-966.681	-995.681	-1.025.552	-9.010.609	-6.875.611	-5.934.405	-5.410.623	-4.374.119
-3.100		-812.200	-836.566	-861.663	-887.513	-914.138	-941.562	-969.809	-998.904	-1.028.871	-1.059.737	-9.310.963	-7.104.798	-6.132.219	-5.590.977	-4.519.923
-3.200		-838.400	-863.552	-889.459	-916.142	-943.627	-971.935	-1.001.093	-1.031.126	-1.062.060	-1.093.922	-9.611.316	-7.333.985	-6.330.032	-5.771.331	-4.665.727
-3.300		-864.600	-890.538	-917.254	-944.772	-973.115	-1.002.308	-1.032.378	-1.063.349	-1.095.249	-1.128.107	-9.911.670	-7.563.172	-6.527.846	-5.951.685	-4.811.531
-3.400		-890.800	-917.524	-945.050	-973.401	-1.002.603	-1.032.681	-1.063.662	-1.095.572	-1.128.439	-1.162.292	-10.212.024	-7.792.359	-6.725.659	-6.132.039	-4.957.335
-3.500		-917.000	-944.510	-972.845	-1.002.031	-1.032.092	-1.063.054	-1.094.946	-1.127.794	-1.161.628	-1.196.477	-10.512.377	-8.021.546	-6.923.473	-6.312.393	-5.103.139
-3.600		-943.200	-971.496	-1.000.641	-1.030.660	-1.061.580	-1.093.427	-1.126.230	-1.160.017	-1.194.818	-1.230.662	-10.812.731	-8.250.733	-7.121.286	-6.492.747	-5.248.943

Supuestos

Incremento en Gasc 3%

ANEXO D-1: SITUACIÓN "SIN PROYECTO"

BIODIGESTOR 15 M³

Valor Base Gas Licuado	Año										Total	VAC				
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9		10	5%	8%	10%	15%
-800		-314.400	-323.832	-333.547	-343.553	-353.860	-364.476	-375.410	-386.672	-398.273	-410.221	-3.604.244	-2.750.244	-2.373.762	-2.164.249	-1.749.648
-900		-353.700	-364.311	-375.240	-386.498	-398.092	-410.035	-422.336	-435.006	-448.057	-461.498	-4.054.774	-3.094.025	-2.670.482	-2.434.780	-1.968.354
-1.000		-393.000	-404.790	-416.934	-429.442	-442.325	-455.595	-469.263	-483.340	-497.841	-512.776	-4.505.305	-3.437.805	-2.967.203	-2.705.311	-2.187.059
-1.100		-432.300	-445.269	-458.627	-472.386	-486.557	-501.154	-516.189	-531.674	-547.625	-564.053	-4.955.835	-3.781.586	-3.263.923	-2.975.842	-2.405.765
-1.200		-471.600	-485.748	-500.320	-515.330	-530.790	-546.714	-563.115	-580.009	-597.409	-615.331	-5.406.365	-4.125.366	-3.560.643	-3.246.374	-2.624.471
-1.300		-510.900	-526.227	-542.014	-558.274	-575.022	-592.273	-610.041	-628.343	-647.193	-666.609	-5.856.896	-4.469.147	-3.857.363	-3.516.905	-2.843.177
-1.400		-550.200	-566.706	-583.707	-601.218	-619.255	-637.833	-656.968	-676.677	-696.977	-717.886	-6.307.426	-4.812.927	-4.154.084	-3.787.436	-3.061.883
-1.500		-589.500	-607.185	-625.401	-644.163	-663.487	-683.392	-703.894	-725.011	-746.761	-769.164	-6.757.957	-5.156.708	-4.450.804	-4.057.967	-3.280.589
-1.600		-628.800	-647.664	-667.094	-687.107	-707.720	-728.952	-750.820	-773.345	-796.545	-820.441	-7.208.487	-5.500.488	-4.747.524	-4.328.498	-3.499.295
-1.700		-668.100	-688.143	-708.787	-730.051	-751.952	-774.511	-797.746	-821.679	-846.329	-871.719	-7.659.018	-5.844.269	-5.044.244	-4.599.029	-3.718.001
-1.800		-707.400	-728.622	-750.481	-772.995	-796.185	-820.070	-844.673	-870.013	-896.113	-922.997	-8.109.548	-6.188.050	-5.340.965	-4.869.560	-3.936.707
-1.900		-746.700	-769.101	-792.174	-815.939	-840.417	-865.630	-891.599	-918.347	-945.897	-974.274	-8.560.079	-6.531.830	-5.637.685	-5.140.091	-4.155.413
-2.000		-786.000	-809.580	-833.867	-858.883	-884.650	-911.189	-938.525	-966.681	-995.681	-1.025.552	-9.010.609	-6.875.611	-5.934.405	-5.410.623	-4.374.119
-2.100		-825.300	-850.059	-875.561	-901.828	-928.882	-956.749	-985.451	-1.015.015	-1.045.465	-1.076.829	-9.461.140	-7.219.391	-6.231.125	-5.681.154	-4.592.825
-2.200		-864.600	-890.538	-917.254	-944.772	-973.115	-1.002.308	-1.032.378	-1.063.349	-1.095.249	-1.128.107	-9.911.670	-7.563.172	-6.527.846	-5.951.685	-4.811.531
-2.300		-903.900	-931.017	-958.948	-987.716	-1.017.347	-1.047.868	-1.079.304	-1.111.683	-1.145.033	-1.179.384	-10.362.201	-7.906.952	-6.824.566	-6.222.216	-5.030.237
-2.400		-943.200	-971.496	-1.000.641	-1.030.660	-1.061.580	-1.093.427	-1.126.230	-1.160.017	-1.194.818	-1.230.662	-10.812.731	-8.250.733	-7.121.286	-6.492.747	-5.248.943
-2.500		-982.500	-1.011.975	-1.042.334	-1.073.604	-1.105.812	-1.138.987	-1.173.156	-1.208.351	-1.244.602	-1.281.940	-11.263.261	-8.594.513	-7.418.006	-6.763.278	-5.467.649
-2.600		-1.021.800	-1.052.454	-1.084.028	-1.116.548	-1.150.045	-1.184.546	-1.220.083	-1.256.685	-1.294.386	-1.333.217	-11.713.792	-8.938.294	-7.714.727	-7.033.809	-5.686.355
-2.700		-1.061.100	-1.092.933	-1.125.721	-1.159.493	-1.194.277	-1.230.106	-1.267.009	-1.305.019	-1.344.170	-1.384.495	-12.164.322	-9.282.074	-8.011.447	-7.304.340	-5.905.061
-2.800		-1.100.400	-1.133.412	-1.167.414	-1.202.437	-1.238.510	-1.275.665	-1.313.935	-1.353.353	-1.393.954	-1.435.772	-12.614.853	-9.625.855	-8.308.167	-7.574.872	-6.123.767
-2.900		-1.139.700	-1.173.891	-1.209.108	-1.245.381	-1.282.742	-1.321.225	-1.360.861	-1.401.687	-1.443.738	-1.487.050	-13.065.383	-9.969.635	-8.604.887	-7.845.403	-6.342.473
-3.000		-1.179.000	-1.214.370	-1.250.801	-1.288.325	-1.326.975	-1.366.784	-1.407.788	-1.450.021	-1.493.522	-1.538.328	-13.515.914	-10.313.416	-8.901.608	-8.115.934	-6.561.178
-3.100		-1.218.300	-1.254.849	-1.292.494	-1.331.269	-1.371.207	-1.412.344	-1.454.714	-1.498.355	-1.543.306	-1.589.605	-13.966.444	-10.657.196	-9.198.328	-8.386.465	-6.779.884
-3.200		-1.257.600	-1.295.328	-1.334.188	-1.374.213	-1.415.440	-1.457.903	-1.501.640	-1.546.689	-1.593.090	-1.640.883	-14.416.975	-11.000.977	-9.495.048	-8.656.996	-6.998.590
-3.300		-1.296.900	-1.335.807	-1.375.881	-1.417.158	-1.459.672	-1.503.463	-1.548.566	-1.595.023	-1.642.874	-1.692.160	-14.867.505	-11.344.757	-9.791.768	-8.927.527	-7.217.296
-3.400		-1.336.200	-1.376.286	-1.417.575	-1.460.102	-1.503.905	-1.549.022	-1.595.493	-1.643.357	-1.692.658	-1.743.438	-15.318.036	-11.688.538	-10.088.489	-9.198.058	-7.436.002
-3.500		-1.375.500	-1.416.765	-1.459.268	-1.503.046	-1.548.137	-1.594.581	-1.642.419	-1.691.692	-1.742.442	-1.794.716	-15.768.566	-12.032.319	-10.385.209	-9.468.589	-7.654.708
-3.600		-1.414.800	-1.457.244	-1.500.961	-1.545.990	-1.592.370	-1.640.141	-1.689.345	-1.740.026	-1.792.226	-1.845.993	-16.219.096	-12.376.099	-10.681.929	-9.739.121	-7.873.414

Supuestos

Incremento en Gastc 3%

ANEXO D-2:

FLUJO DE INVERSIONES Y GASTOS DE OPERACIÓN, SITUACIÓN "CON PROYECTO" (EVALUACIÓN PRIVADA)

BIODIGESTOR 5 M ³			Año											Total
Item	Descripción	Valor Base	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	Subtotal Costos de Inversión	-1.750.000	-1.750.000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1.750.000
2-1	Personal	-100.000		-100.000	-103.000	-106.090	-109.273	-112.551	-115.927	-119.405	-122.987	-126.677	-130.477	
2-2	Mantenición	-17.500		-17.500	-18.025	-18.566	-19.123	-19.696	-20.287	-20.896	-21.523	-22.168	-22.834	
2	Subtotal Gasto Anual de Operación	-117.500	0	-117.500	-121.025	-124.656	-128.395	-132.247	-136.215	-140.301	-144.510	-148.845	-153.311	-1.347.006
	TOTAL Costos Anuales		-1.750.000	-117.500	-121.025	-124.656	-128.395	-132.247	-136.215	-140.301	-144.510	-148.845	-153.311	-3.097.006

BIODIGESTOR 10 M ³			Año											Total
Item	Descripción	Valor Base	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	Subtotal Costos de Inversión	-3.000.000	-3.000.000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-3.000.000
2-1	Personal	-100.000		-100.000	-103.000	-106.090	-109.273	-112.551	-115.927	-119.405	-122.987	-126.677	-130.477	
2-2	Mantenición	-30.000		-30.000	-30.900	-31.827	-32.782	-33.765	-34.778	-35.822	-36.896	-38.003	-39.143	
2	Subtotal Gasto Anual de Operación	-130.000	0	-130.000	-133.900	-137.917	-142.055	-146.316	-150.706	-155.227	-159.884	-164.680	-169.621	-1.490.304
	TOTAL Costos Anuales		-3.000.000	-130.000	-133.900	-137.917	-142.055	-146.316	-150.706	-155.227	-159.884	-164.680	-169.621	-4.490.304

BIODIGESTOR 15 M ³			Año											Total
Item	Descripción	Valor Base	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	Subtotal Costos de Inversión	-4.050.000	-4.050.000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-4.050.000
2-1	Personal	-100.000		-100.000	-103.000	-106.090	-109.273	-112.551	-115.927	-119.405	-122.987	-126.677	-130.477	
2-2	Mantenición	-40.500		-40.500	-41.715	-42.966	-44.255	-45.583	-46.951	-48.359	-49.810	-51.304	-52.843	
2	Subtotal Gasto Anual de Operación	-140.500	0	-140.500	-144.715	-149.056	-153.528	-158.134	-162.878	-167.764	-172.797	-177.981	-183.321	-1.610.675
	TOTAL Costos Anuales		-4.050.000	-140.500	-144.715	-149.056	-153.528	-158.134	-162.878	-167.764	-172.797	-177.981	-183.321	-5.660.675

Supuestos

Incremento en Gastos de Operación

3%

VALORES ACTUALIZADOS TRATAMIENTO

Tasa de Descuento	5%	10%	15%
VAC Biodigestor 5 m ³	-2.777.843	-2.558.840	-2.403.892
VAC Biodigestor 10 m ³	-4.137.187	-3.894.887	-3.723.455
VAC Biodigestor 15 m ³	-5.279.037	-5.017.166	-4.831.888

ANEXO D-3:

FLUJO DE INVERSIONES Y GASTOS DE OPERACIÓN, SITUACIÓN "CON PROYECTO" (EVALUACIÓN SOCIAL)

BIODIGESTOR 5 M ³			Año											Total
Item	Descripción	Valor Base	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1-1	Materiales	-1.029.412												
1-2	Mano de Obra	-392.647												
1	Subtotal Costos de Inversión	-1.422.059	-1.422.059	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1.422.059
2-1	Personal	-89.000		-89.000	-91.670	-94.420	-97.253	-100.170	-103.175	-106.271	-109.459	-112.743	-116.125	
2-2	Mantención	-14.221		-14.221	-14.647	-15.087	-15.539	-16.005	-16.486	-16.980	-17.490	-18.014	-18.555	
2	Subtotal Gasto Anual de Operación	-103.221	0	-103.221	-106.317	-109.507	-112.792	-116.176	-119.661	-123.251	-126.948	-130.757	-134.679	-1.183.308
	TOTAL Costos Anuales		-1.422.059	-103.221	-106.317	-109.507	-112.792	-116.176	-119.661	-123.251	-126.948	-130.757	-134.679	-2.605.367

BIODIGESTOR 10 M ³			Año											Total
Item	Descripción	Valor Base	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1-1	Materiales	-1.890.756												
1-2	Mano de Obra	-560.924												
1	Subtotal Costos de Inversión	-2.451.681	-2.451.681	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-2.451.681
2-1	Personal	-89.000		-89.000	-91.670	-94.420	-97.253	-100.170	-103.175	-106.271	-109.459	-112.743	-116.125	
2-2	Mantención	-24.517		-24.517	-25.252	-26.010	-26.790	-27.594	-28.422	-29.274	-30.153	-31.057	-31.989	
2	Subtotal Gasto Anual de Operación	-113.517	0	-113.517	-116.922	-120.430	-124.043	-127.764	-131.597	-135.545	-139.611	-143.800	-148.114	-1.301.343
	TOTAL Costos Anuales		-2.451.681	-113.517	-116.922	-120.430	-124.043	-127.764	-131.597	-135.545	-139.611	-143.800	-148.114	-3.753.024

BIODIGESTOR 15 M ³			Año											Total
Item	Descripción	Valor Base	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1-1	Materiales	-2.722.689												
1-2	Mano de Obra	-605.798												
1	Subtotal Costos de Inversión	-3.328.487	-3.328.487	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-3.328.487
2-1	Personal	-89.000		-89.000	-91.670	-94.420	-97.253	-100.170	-103.175	-106.271	-109.459	-112.743	-116.125	
2-2	Mantención	-33.285		-33.285	-34.283	-35.312	-36.371	-37.462	-38.586	-39.744	-40.936	-42.164	-43.429	
2	Subtotal Gasto Anual de Operación	-122.285	0	-122.285	-125.953	-129.732	-133.624	-137.633	-141.762	-146.015	-150.395	-154.907	-159.554	-1.401.859
	TOTAL Costos Anuales		-3.328.487	-122.285	-125.953	-129.732	-133.624	-137.633	-141.762	-146.015	-150.395	-154.907	-159.554	-4.730.346

Supuestos

Incremento en Gastos de Operación	3%
Factor de Ajuste Mano de Obra No Calificada	0,89

VALORES ACTUALIZADOS TRATAMIENTO

Tasa de Descuento	8%
VAC Biodigestor 5 m ³	-2.201.388
VAC Biodigestor 10 m ³	-3.308.748
VAC Biodigestor 15 m ³	-4.251.755

OFICINA DE ESTUDIOS Y POLITICAS AGRARIAS (ODEPA)

ESTUDIO PARA LA EVALUACION SOCIOECONOMICA Y AMBIENTAL DE TRES PROTOTIPOS DE BIODIGESTORES EN PREDIOS DE PEQUEÑOS PRODUCTORES LECHEROS

INFORME FINAL

ANEXO E - DIRECTORIO DE EXPERIENCIAS Y PROVEEDORES

TABLA VERSIONES						
Doc	Fecha	Autor	Firma	Aprobador	Firma	Descripción de cambios
EMI A	07-01-09	Gerhard Schleenstein		Gerhard Schleenstein		
EMI B	16-02-09	Gerhard Schleenstein		Gerhard Schleenstein		A solicitud de ODEPA, se incluye PRESECO.
EMI C	24-03-09	Gerhard Schleenstein		Gerhard Schleenstein		

En Chile, la experiencia e información sobre biodigestores a pequeña escala es muy dispersa y no ha sido sistematizada aún. Los proyectos que se han desarrollados frecuentemente no alcanzan mayor publicidad incluso dentro de los profesionales que se dedican a la materia. Contrariamente, los proyectos de biodigestores de purines de tamaño mayor (ej. Negrete) son ampliamente difundidos, pero sus vías de financiamiento e implementación no son comparables con las iniciativas a pequeña escala.

A continuación se presenta un listado proveedores, profesionales del área e institutos universitarios que tienen cierta experiencia en el área y que podrían apoyar en la implementación de un programa de biodigestores. No se ha incluido proveedores de plantas industrializadas, aunque en algunos casos se han hecho excepciones siempre y cuando se han instalado plantas piloto o demostrativas.

Aqualimpia Ecosolutions

Dirección: Km 498 Panamericana Sur, Los Angeles
Fono: (09) 8-7754201
Dirección: Villa Palacios 556, Valle Lo Campino, Quilicura
Fono: (09) 9-8472410
Correo electrónico: chile@aqualimpia.com
Página web: www.aqualimpia.com

El Grupo Aqualimpia ofrece proyectos detallados para la construcción de plantas de biogás - biodigestores de capacidades de 20, 50, 100 y 200 m³. Cada juego de planos se compone de la memoria técnica y planos en tamaño A1-ISOA1, en formato de impresión (DFW), conteniendo 4 planos constructivos, listos para impresión en blanco y negro. El costo para un proyecto de un biodigestor de 20 m³ es de USD 640 (aprox. \$400.000).

En Chile, el Grupo AquaLimpia fue contratado por un grupo de inversionistas chilenos para la preparación de los estudios de factibilidad y diseños detallados para la construcción de una planta de biogás para instalar 10 MW de potencia. Como biomasa se utilizara forraje de maíz y estiércol de ganado.

Como parte del proyecto se ha terminado la construcción de una planta piloto para evaluar el potencial de biogás que se puede obtener del forraje de maíz, considerando las condiciones climatológicas de la zona.

Soc. Com. Riegotec Internacional Ltda./BioEiberger

Dirección: Fundo Los Maitenes, Km 498 Panamericana Sur, Los Angeles
Contacto: Johannes Eiberger
Correo electrónico: contacto@bioeiberger.com
Página web: www.aqualimpia.com

BioEiberger, el Departamento Renovables, fue constituida por Riegotec Internacional Ltda. con la meta fundamental de explorar, desarrollar y generar energías limpias que contribuyan a disminuir el impacto negativo que sufre el medio ambiente, todo bajo una gran compromiso social. Su principal actividad se centra en la representación de proyectos en energías renovables no convencionales tales como son las provenientes de Biogás.

Desde mediados del año 2007 ha trabajado en la construcción de la planta piloto de biogás "Los Maitenes", que está diseñada para llegar a los tres metros cúbicos de gas al día por cada metro cúbico de capacidad de lodo del digestor, esto con la alimentación de maíz.

En Chile, la compañía está desarrollando una serie de alianzas para entregar un servicio completo sobre los diversos proyectos que acogen, tales como Grupo Aqualimpia e Ingesagro Ltda.

David Pérez P.

Dirección: Coltauco
Contacto: David Pérez P.
Fono: (09) 9-6335325
Correo electrónico: quilaquillen@gmail.com

David Pérez ha implementado un biodigestor tipo "chino" de 5 m³ en base a sustrato de residuos orgánicos domiciliarios y bosta de caballo y lo está operando desde hace diez años. Utiliza el biogás para cocinar y calefaccionar. Actualmente está implementando un biodigestor tipo "indio" de cúpula flotante de aprox. 15 m³.

Está diseñando biodigestores para lecherías y tiene disponibilidad de construirlas en el sur del país.

BioTecSur

Dirección: Justo Geisse N° 732, Osorno
Contacto: Mario Ávila Grothusen
Fono: (09) 6-2691331, (64) 236826
Correo electrónico: avilagrothusen@gmail.com

BioteceSur es una empresa dedicada a diseñar y construir biodigestores según los requerimientos de cada cliente, desde biodigestores pequeños que generan gas suficiente para cocinar y calefaccionar, hasta Biodigestores Agroindustriales que generan electricidad para autoabastecer el consumo total de energía, también pueden almacenar el biogás y utilizarlo como combustible para vehículos de uso particular.

Actualmente tienen dos biodigestores funcionando, un banco de pruebas donde la empresa evalúa diferentes sustratos y uno de 7 m³ funcionando cerca de la ciudad de Purránque, con una producción estimada de 1,5 m³/d de biogás, que se utiliza para cocinar los alimentos para dos personas.

ONG Madre (Movimiento Amigos Defensa y Resguardo Ecológico)

Dirección: Blanco Encalada 1730, Lautaro
Contacto: Eduardo Poo Rodríguez
Fono: (09) 7-8665313
Correo electrónico: madreongpoo@yahoo.com.ar
Página web: <http://madreongpoo.blogspot.com>

Esta ONG ambientalista ha construido un prototipo experimental de 200 litros, que se alimenta con excretas de cerdo y residuos de un restaurant y que fue premiado por CORFO y la Municipalidad de Lautaro. Actualmente ha desarrollado planos para biodigestor auto-sustentable, que todavía no se han llevado a la práctica.

MAT Constructora e Ingeniería Ambiental

Dirección: Lota 2476 of 26, Providencia
Contacto: Mario Acevedo T.
Fono: (2) 3817447 (09) 8-2076707
Correo electrónico: matingenieriaa@gmail.com, mario.acevedo.t@gmail.com

Se maneja la información no confirmada, que ha implementado ocho biodigestores de diferentes tamaños en Argentina y Chile, entre ellos biodigestores para escuelas rurales en Constitución que trabajan con sustrato mixto.

Bioeco Ltda.

Dirección: San Antonio 1001 of 46, Viña del Mar (Oficina)
Contacto: Patricio Fiol Cortes, José Luis Villalobos, Daniel González
Fono: (09) 9-2324584, (32) 2311068

Se maneja la información no confirmada, que la empresa ofrece servicios de consultorias especializadas en tratamiento de aguas servidas, diseño y construcción de biodigestores.

SAME Ltda.

Dirección: Av. Holanda 3857, Ñuñoa
Contacto: Cristian Plaza
Fono: (2) 209 96 88
Correo electrónico: cristian.plaza@same.cl
Página web: www.same.cl

La unidad de Investigación y Desarrollo de SAME ha desarrollado proyectos de investigación, en el área de la biotecnología ambiental, en base a poseer un grupo multidisciplinario de profesionales, que a su vez están constantemente apoyados por consultores especialistas en los temas de investigación. Estos proyectos de investigación y desarrollo han sido subsidiados por INNOVA CHILE. Bajo este esquema se está llevando a cabo un proyecto de biodigestion de residuos sólidos avícolas (guano) para producir energía para consumo en estos planteles. Los resultados positivos de este proyecto ha llevado a la empresa a planes de ofrecer en el futuro, biodigestores más pequeños, orientados principalmente al segmento de los avicultores.

Grupo Biogas del Sur - Universidad Austral de Chile

Dirección: Independencia 641, Valdivia
Contacto: Ph.D. Luigi Ciampi, Instituto de Producción y Sanidad Vegetal, Facultad de Ciencias Agrarias
Fono: (63) 221232
Correo electrónico: lciampi@uach.cl

Se maneja la información no confirmada, que el Grupo Biogás del Sur de la UACH ha desarrollado una propuesta para una cooperación chileno-alemana y socios locales (Cooperados Colun, empresas lecheras, entre otros) para un proyecto piloto demostrativo de producción de biogás y fertilizante con la finalidad de construir una planta piloto en un sector de predios de producción animal, a través de una cooperación chileno alemana. La iniciativa apunta a plantas industriales y de mayor envergadura.

BioAgfo Energía Ltda

Dirección: Av. Alemania 410, Valdivia
Contacto: Sebastian Köber
Fono: (63) 363601, (9) 87513802
Correo electrónico: contacto@bioagfo.cl
Página web: www.bioagfo.cl

BioAgfo Energía Ltda. brinda soluciones integrales para la valorización energética de biomasa en el sector forestal, agrícola, ganadero e industrial, realizando estudios de prefactibilidad, factibilidad y preinversión para producción de bioenergía (térmica, eléctrica y refrigeración), a empresas públicas y privadas, mediante la valorización y optimización de la transformación energética de residuos sólidos y líquidos agrícolas, forestales, ganaderos y acuícolas.

Entre otros proyectos, se ha iniciado una cooperación entre la empresa y TodoAgro S.A., para realizar estudios para producción de biogás en la Provincia de Valdivia, con la finalidad de recopilar y generar antecedentes y parámetros 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.

Si bien la empresa apunta a plantas grandes, también ha señalado a contribuir a la construcción de biodigestores pequeños.

PRESECO S.A.

Dirección: Avda. Isidora Goyenechea 2925 of. 103, Las Condes
Contacto: Clara León
Fono: (2) 3740369
Correo electrónico: clara.leon@preseco.eu
Página web: www.preseco.eu

Preseco es una empresa finlandesa que tiene en Chile su sede para el Cono Sur y que desembarcó en estas latitudes hace un aproximadamente año. Se dedica a aplicar tecnología para procesar desechos, purificar agua, generar energía y producir biocombustibles.

Están negociando con municipios que están cerrando sus vertederos y están viendo soluciones, como tener plantas de biogás. También hay tratativas con agroindustrias.