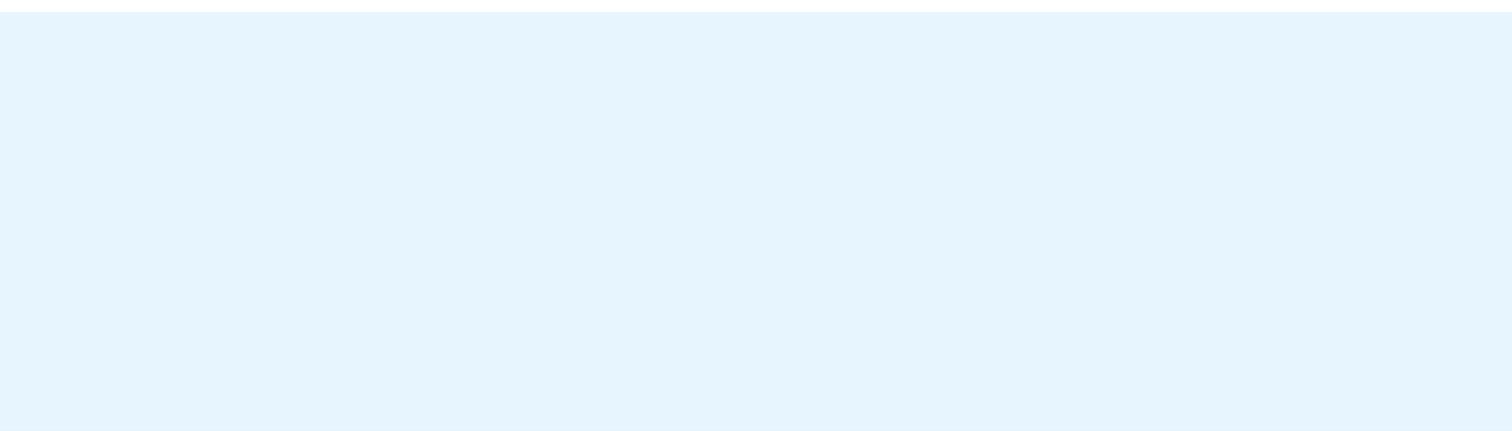
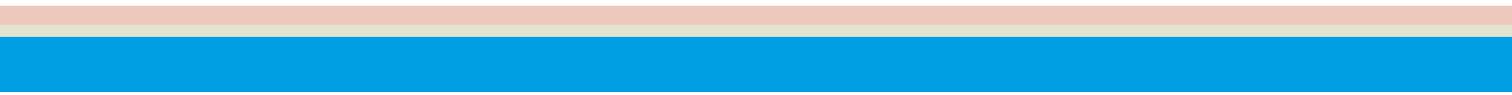


BIOGÁS DE RESIDUOS AGROPECUARIOS EN LA REGIÓN DE LOS RÍOS

ASPECTOS GENERALES, EXPERIENCIAS Y POTENCIAL DE PRODUCCIÓN





BIOGÁS DE RESIDUOS AGROPECUARIOS EN LA REGIÓN DE LOS RÍOS

ASPECTOS GENERALES, EXPERIENCIAS Y POTENCIAL DE PRODUCCIÓN



ÍNDICE GENERAL

1	Introducción	11
2	Descripción y análisis de alternativas tecnológicas para la producción de biogás	15
	<i>Autor: Mario Ávila Grothusen</i>	
2.1	Aspectos metodológicos	16
2.2	Digestión anaeróbica; historia y actualidad	16
2.3	Descripción de un biodigestor	17
2.4	Biogás	18
2.4.1	Composición del biogás	18
2.4.2	Características y usos del biogás	18
2.5	Fases de la digestión anaeróbica y producción de biogás	19
2.6	Biofertilizante	20
2.6.1	Ventajas del uso de biol (fase líquida)	20
2.6.2	Ventajas del uso de biosol (fase sólida)	21
2.7	Materiales, tipos y aplicaciones de biodigestores	22
2.8	Experiencias de biodigestión en el país	26
2.9	Estado actual, producción y uso de biogás en la Región de Los Ríos	28
2.10	Experiencias tecnológicas pertinentes a producción láctea ganadera	29
3	Estimación de la producción de biomasa, generación de biogás y su potencial energético	33
	<i>Autores: Alfredo Erlwein y Eliana Sotomayor</i>	
3.1	Estimación de las distintas biomasas residuales agropecuarias disponibles para la generación de biogás en la Región de Los Ríos	34
3.1.1	Aspectos metodológicos	35
3.1.2	Biomasa residual líquida	36
3.1.2.1	Purín de vacuno de lechería	36
3.1.2.2	Estiércol de porcino	38
3.1.2.3	Ferías ganaderas	38
3.1.2.4	Industria quesera	39
3.1.2.5	Residuos de beneficio de ganado (mataderos)	41
3.1.3	Biomasa residual sólida	42
3.1.3.1	Estiércol avícola	42
3.1.3.2	Industria cervecera	43
3.2	Potencial teórico de biogás a partir de las biomasas disponibles	44
3.2.1	Aspectos metodológicos	44
3.2.2	Potencial teórico de biogás de biomasa residual líquida	45
3.2.2.1	Purín de vacuno lechería	45
3.2.2.2	Estiércol de porcino	46
3.2.2.3	Ferías ganaderas	46
3.2.2.4	Residuos de la industria quesera	46
3.2.2.5	Mataderos	46
3.2.3	Potencial teórico de biogás de biomasa residual sólida	47
3.2.3.1	Estiércol avícola	47
3.2.3.2	Residuos de la industria cervecera	48
3.3	Estimación de la generación de energía a partir de biogás obtenido desde las distintas biomasas disponibles	48
3.3.1	Aspectos metodológicos	48
3.3.2	Potencial regional total	49
3.3.3	Potencial regional de pequeña escala	51
3.3.4	Estimación de autoabastecimiento de biogás para cocina de una familia rural promedio	52

4	Evaluación económica y social de sistemas prediales de biodigestión	57
	<i>Autor: Francisco Cerda</i>	
4.1	Aspectos metodológicos	58
4.2	Valorización de productos asociados a sistemas prediales de biodigestión (SPB)	60
4.2.1	Ingresos en sustitución de energías (ahorro)	60
4.2.2	Excedentes energéticos	62
4.2.3	Costos asociados al proyecto	62
4.2.4	Inversión	63
4.2.5	Costos de operación y mantención	64
4.2.6	Evaluación y sensibilización privada de la inversión	64
4.3	Externalidades y consideraciones para la evaluación social de un SPB	69
4.3.1	Disminución de olores y vectores	69
4.3.2	Sustitución de leña, menos deforestación	69
4.3.3	Menor emisión de gas metano, disminución del efecto invernadero	70
4.3.4	Control de malezas	70
4.3.5	Estabilización e higienización de purines	70
4.3.6	Cumplimiento de normas medioambientales	70
4.3.7	Criterios de evaluación social	71
5	Normativa aplicable a proyectos de generación de biogás	73
	<i>Autor: Eliana Sotomayor</i>	
6	Conclusiones generales	79
7	Anexos	82
7.1	Análisis comparativo entre purin crudo y digerido	82
7.2	Análisis de residuos de fosas sépticas tratados con biodigestión	84
7.3	Cálculo de potenciales de biomasa y energía	85
7.3.1	Datos referenciados	85
7.3.2	Encuestas y entrevistas a actores relevantes	86
7.3.3	Encuesta productores de leche (segmento de 0-10 vacas en ordeña)	86
7.3.4	Encuesta productores de leche (segmento de 10-25 vacas en ordeña)	87
7.3.5	Encuesta productores de leche (segmento de 50-100 vacas en ordeña)	87
7.4	Encuesta ferias de ganado	88
7.4.1	Encuesta Tattersal de Río Bueno	88
7.4.2	Procedimiento para deshacerse de los desechos (bostas y purines)	88
7.4.3	Cantidad promedio de desechos (bostas y purines) en un determinado tiempo	88
7.4.4	Encuesta FEGOSA Paillaco	88
7.4.5	Procedimiento para deshacerse de los desechos (bostas y purines)	88
7.4.6	Cantidad promedio de desechos (bostas y purines) en un determinado tiempo	89
7.5	Entrevista a criaderos de aves	89
7.5.1	Agrícola y avícola ciudad de Valdivia	89
7.6	Entrevista productores de queso	89
7.7	Encuesta industria cervecera	90
7.8	Análisis Económico	92
	Bibliografía	94
	Agradecimientos	97

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 (A - B):	Buses funcionando con biogás durante la segunda guerra mundial y posterior a ella	16
Figura 2:	Esquema de un biodigestor en base a purines	17
Figura 3:	Caldera a biogás	18
Figura 4 (A - B):	Caldera a biogás y grupo electrógeno a biogás	18
Figura 5:	Calefactor porcino a biogás, Centro de Educación y Trabajo (CET), Talca	19
Figura 6:	Gráfico temperatura versus producción de biogás	19
Figura 7 (A - B):	Aplicación de biofertilizante	20
Figura 8:	Biodigestor de domo flotante, tipo hindú	22
Figura 9:	Biodigestor de domo fijo, tipo Chino, Coltauco (Foto)	22
Figura 10:	Biodigestor de domo flotante, tipo hindú (Foto)	22
Figura 11:	Biodigestores de estructura flexible (Foto)	22
Figura 12:	Biodigestor de domo fijo, tipo Chino	23
Figura 13:	Biodigestor de estructura flexible	23
Figura 14:	Biodigestor de estructura rígida y gasómetro externo	24
Figura 15: (A - B):	Biodigestor de estructura rígida y gasómetro externo (Foto)	24
Figura 16:	Biodigestor de flujo inducido, estructura rígida y gasómetro flexible	25
Figura 16 (A-B):	Biodigestor sistema estructura de hormigón, domo flexible, agitación constante y calefacción	25
Figura 17:	Planta biogás en la región de O'Higgins para purines de cerdos (Foto)	26
Figura 18:	Cogeneración con grupo electrógeno de 200 Kw a biogás en planta de Genera Austral	27
Figura 19 (A - B):	Planta de biogás para residuos lácteos de Schwager Energy, en Osorno	27
Figura 20:	Biodigestores de material flexible tipo laguna, en la Región de los Lagos	27
Figura 21:	Biodigestores en fundo "El Anima", sector Purranque	28
Figura 22:	Esquema de sistema de captación y transformación del biogás en energía eléctrica en el relleno sanitario Loma Los Colorados	28
Figura 23:	Sistema de biodigestión predial para 40 vacas, Chiscaihue	28
Figura 24:	Biodigestor estructura flexible tipo laguna, Reumen	28
Figura 25 (A - B - C):	Biodigestores de estructura rígida y domo flotante en la Región de los Ríos	29
Figura 26 (A - B):	Recolección, mezcla y llenado biodigestor domiciliario	30
Figura 27:	Biodigestor domiciliario de estructura rígida y cúpula flexible para 20 cerdos, biogás para cocinar	30
Figura 28:	Biodigestor estructura flexible para 80 vacas, Puyehue	30
Figura 29:	Clasificación de biomasas agropecuarias residuales analizadas en este estudio	36
Figura 30:	Composición del potencial de biogás regional por tipo de biomasa	50
Figura 31:	Esquema general de evaluación social y privada de un SPB	59

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1:	Biodigestor de Domo Flotante tipo hindú	22
Tabla 2:	Biodigestor de Domo Fijo tipo Chino	22
Tabla 3:	Biodigestor de Estructura Flexible	23
Tabla 4:	Biodigestor de Estructura Rígida y Gasómetro Externo	24
Tabla 5:	Biodigestor de Flujo Inducido, Estructura Rígida y Gasómetro Flexible	25
Tabla 6:	Detalle de número de animales y producción de purines por tamaño de explotación	37
Tabla 7:	Detalle de número de cabezas de cerdo y producción de purines por tamaño de explotación en la Región de Los Ríos.	38
Tabla 8:	Purín producido según tipo de animal, Tattersall	39
Tabla 9:	Purín producido según tipo de animal, FEGOSA	39
Tabla 10:	Generación anual de suero húmedo, seco y materia orgánica en la región	41
Tabla 11:	Estiércol de aves según tamaño de explotación	42
Tabla 12:	Producción de cerveza y bagazo para 4 empresas de la Región de Los Ríos	44
Tabla 13:	Factores de conversión de materia orgánica en biogás	45
Tabla 14:	Potencial valor teórico de generación de biogás a partir de la digestión anaeróbica de purines de vacunos de lechería	45
Tabla 15:	Producción de biogás porcino	46
Tabla 16:	Producción estimada de biogás para las industrias lácteas de la Región de Los Ríos	46

Tabla 17:	Potencial de biogás Planta FRIVAL	47
Tabla 18:	Potencial regional de generación de residuos orgánicos para la producción de biogás en la industria de matadero	47
Tabla 19:	Potencial teórico de biogás generado a partir del estiércol de aves	48
Tabla 20:	Potencial de generación de biogás a partir de los desechos sólidos de la industria de la cerveza	48
Tabla 21:	Potencial regional: biogás total y máximo teórico de generación de energía eléctrica y térmica	51
Tabla 22:	Potencial regional: biogás de pequeña escala y valores de sustitución de otros combustibles utilizados	52
Tabla 23:	Ejemplo de autosuficiencia térmica familiar a través de la incorporación de un biodigestor domiciliario	54
Tabla 24:	Costo energético sin proyecto y beneficios de producción energética	62-63
Tabla 25:	Costos de inversión privada	63
Tabla 26:	Costos de mantención privada	64
Tabla 27:	Determinación del aporte privado y subsidio público, considerando sustitución de leña (TIR 15%)	66
Tabla 28:	Determinación del aporte privado y subsidio público, considerando sustitución de GLP (TIR 15%)	67
Tabla 29:	Determinación del aporte privado y subsidio público, considerando sustitución de GLP (TIR 10%)	68
Tabla 30:	Especificaciones legales que actualmente son aplicables a proyectos de biogás	77
Tabla 31:	Potencial de producción de biogás por animal	85
Tabla 32:	Materia seca, materia orgánica, rendimiento de biogás y contenido de metano para el suero de leche	85
Tabla 33:	Generación diaria y anual de residuos en materia seca, expresados en kg por día y toneladas por año	85
Tabla 34:	Valores de DBO5, sólidos suspendidos totales, aceites y grasas presentes en los RILEs generados en la planta FRIVAL	86
Tabla 35:	Volumen y materia seca de residuos generados por planta FRIGOBAL al año	87
Tabla 36:	Flujos financieros	92

GLOSARIO

AFC	Agricultura Familiar Campesina	MH	Materia Húmeda
BIOL	Fase líquida del digestato	MOH	Materia Orgánica Húmeda
Biometanización	Generación de metano a través de fermentación anaeróbica	MOS	Materia Orgánica Seca
BIOSOL	Fase sólida del digestato	MS	Materia Seca
DBO5	Demanda biológica de oxígeno	MV	Materia Verde
Digestato	Residuo estabilizado de la digestión anaeróbica	MW	Mega Watt
ERNC	Energía Renovable No Convencional	MWe	Mega Watt eléctrico
Estiércol	Deyecciones (fecas) animales	MWh	Mega Watt hora
FRIGOBAL	Frigorífico Balmaceda	PAS	Permisos Ambientales Sectoriales
FRIVAL	Frigorífico Valdivia	Purín	Estiércol diluido en aguas de lavado
Gasómetro	Contenedor rígido o flexible para el almacenamiento de gas	QQM	Quintales Métricos
GJ	Giga Joule (1 GJ equivale a 0,28 MW)	Rdto	Rendimiento
GLP	Gas Licuado de Petróleo	RIL	Residuo Industrial Líquido
INDAP	Instituto de Desarrollo Agropecuario	SEA	Servicio de Evaluación Ambiental
INE	Instituto Nacional de Estadísticas	SEIA	Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental
KCAL	Kilo caloría	SIC	Sistema Interconectado Central
KWh	Kilo Watt hora	SISS	Superintendencia de Servicios Sanitarios
		SPB	Sistemas Prediales de Biodigestión
		TRH	Tiempo de Retención Hidráulica
		UAE	Unidad Animal Equivalente

BIOGÁS DE RECURSOS AGROPECUARIOS EN LA REGIÓN DE LOS RÍOS

Aspectos Generales, Experiencias y Potencial de Producción

Publicado por

Instituto de Desarrollo Agropecuario (INDAP) y Gobierno Regional de Los Ríos (GORE Los Ríos), en el marco de la “Política Regional de Desarrollo Silvoagropecuario 2014-2018”, a través del “Programa de Valorización de Residuos de la Actividad Silvoagropecuaria”.

Gobierno Regional de Los Ríos
Bernardo O'Higgins N° 543
Valdivia
<http://www.goredelosrios.cl>

Instituto de Desarrollo Agropecuario (INDAP)
Comercio 423
Río Bueno
<http://www.indap.gob.cl>

Derechos Reservados Gobierno Regional de Los Ríos, Registro de Propiedad Intelectual,
ISBN: A-272244
Valdivia, Noviembre de 2016

8

Coordinación y revisión

Mariela Leiva Brintrup, profesional de INDAP
Carlos Martínez Cárdenas, profesional de INDAP
Jorge Balboa Toro, profesional Gobierno Regional de Los Ríos
Daniela Génova Espinoza, profesional Secretaría Regional Ministerial (SEREMI) de Agricultura

Colaboración especial de Marianela Rosas Uribe, Coordinadora Regional Programa GEF Biogás

Coordinación general

Mario Mendoza Cabrera

Fotografías

Mario Mendoza Cabrera, Biotecsur

Editor

Alfredo Ertwein Vicuña

Autores

Mario Avila Grothusen
Eliana Sotomayor Bohle
Alfredo Ertwein Vicuña
Francisco Cerda Rosenberg

Diseño y diagramación

Javier Tuteleers de Terán

Impresión y encuadernación

Imprenta América de Osorno, Noviembre de 2016

PRESENTACIÓN

La Misión del Instituto de Desarrollo Agropecuario (INDAP) es contribuir al desarrollo económico sostenible y a la valorización de la Agricultura Familiar Campesina y sus organizaciones, mediante una acción de fomento tendiente a fortalecer el capital humano, social, productivo, natural y cultural, de hombres, mujeres, jóvenes y pueblos originarios en los territorios.

Por ello, nuestra institución se encuentra continuamente en la búsqueda de nuevas herramientas e investigando distintos procesos productivos que permitan que nuestros agricultores tengan acceso a información relevante que facilite la adopción y aplicación de tecnologías acordes con el medio ambiente, y sostenibles en el tiempo.

La visión de nuestra institución de fomento productivo nos mueve a actuar en red con otros actores públicos y privados, en beneficio de la Agricultura Familiar Campesina, con quienes estamos ligados íntimamente. Son estas redes, que se formalizan a través de convenios con otras instituciones, las que nos permiten trabajar en conjunto y lograr los objetivos planteados.

El presente documento, detalla el trabajo coordinado entre profesionales de INDAP, del Gobierno Regional de Los Ríos y la Secretaría Regional Ministerial (SEREMI) de Agricultura, en el marco de la Política Regional de Desarrollo Silvoagropecuario 2014-2018, quienes se dan cita para primero conversar, luego discutir y finalmente explorar una de las alternativas energéticas renovables como es la utilización del biogás, el cual resulta factible de producir en los mismos predios de nuestros agricultores, estableciendo una alternativa de

generación energética que revaloriza los residuos prediales, haciendo eco a la creciente demanda que existe por parte de la Agricultura Familiar Campesina Regional, por incorporar Energías Limpias que permitan desarrollar un manejo cada vez más sustentable de sus unidades productivas.

Cabe destacar que la investigación presentada a continuación está enmarcada en los pequeños y medianos productores, pretendiendo ser una herramienta útil que constituya uno de los primeros pasos para evaluar la utilización de este tipo de tecnologías en predios manejados por productores agropecuarios de la Región de Los Ríos.



JORGE SANCHEZ SLATER

Director Regional INDAP Región de Los Ríos





1 INTRODUCCIÓN

La presente publicación se realiza por encargo del Instituto de Desarrollo Agropecuario (INDAP), en el marco de la Política Regional de Desarrollo Silvoagropecuario a través del Programa de Valorización de Residuos de la Actividad Silvoagropecuaria con financiamiento del Gobierno Regional

En la Región de Los Ríos, el sector silvoagropecuario representa el 13% del Producto Interno Bruto y genera el 25% del empleo, siendo parte importante del motor económico regional. Es por esta razón que la Estrategia Regional de Desarrollo 2009-2019 estableció como imperativo diseñar y ejecutar una política orientada a su fortalecimiento. La implementación de esta política se desarrolla con énfasis en la investigación e innovación para hacer del sector silvoagropecuario y alimentario un sector más competitivo y sustentable, que potencie su rol de motor económico de la región, con especial relevancia en los pequeños y medianos productores, quienes serán los principales beneficiarios de este instrumento.

El presente documento es producto de un trabajo de investigación de carácter exploratorio sobre el potencial de producción y utilización de biogás en explotaciones silvoagropecuarias de la Región de Los Ríos, con énfasis en la pequeña y mediana agricultura. Su finalidad fue reunir antecedentes que orienten la toma de decisiones públicas y privadas, incluyendo información técnica y económica, que dé cuenta del potencial de implementación de proyectos de biogás de origen agropecuario en la Región de los Ríos. Para ello, se trabajó tanto con información secundaria (estudios, manuales, reportes, tesis, libros, publicaciones científicas, etc.) como con información primaria proveniente de las experiencias de miembros del equipo de trabajo del estudio, así como de entrevistas a actores relevantes de los diversos rubros con potencial de producción de biogás.

El capítulo dos de esta investigación hace referencia a los principios y conceptos básicos de la producción de biogás, al análisis de las alternativas tecnológicas existentes para su producción, así como del estado actual del arte en la producción y el uso del biogás tanto en el mundo como en el país y la región en particular.

El capítulo tres presenta una estimación de las distintas biomásas agropecuarias residuales disponibles en la región para la generación de biogás, incluyendo biomásas sólidas o líquidas, provenientes de la producción pecuaria (lechería, porcinos, aves, ferias ganaderas), así como de la agroindustria (queso, cerveza, mataderos). Asimismo, se calculan los potenciales teóricos de biogás y su energía calórica a partir de las distintas biomásas disponibles. Para ello se utilizan factores de conversión específicos para cada biomasa y atendiendo a las características de las explotaciones locales.

Finalmente se estima la generación de energía térmica y eléctrica, según corresponda, a partir del biogás potencial de las distintas biomásas disponibles. También se incluye un análisis de autosuficiencia de biogás para la cocina de una familia rural campesina promedio, con algunos cálculos respecto a las implicancias en eficiencia energética y economía.



Se analiza en forma exploratoria el potencial de producción y utilización de biogás en explotaciones silvoagropecuarias de la Región de Los Ríos, con énfasis en la pequeña y mediana agricultura

El cuarto capítulo aborda una evaluación económica de la implementación de Sistemas Prediales de Biodigestión (SPB), lo que implica producción y uso de biogás para pequeños y medianos productores agroalimentarios. Se calculan beneficios, costos económicos y sociales relativos a la implementación de un SPB, mediante un estudio de flujos proyectados, ingresos y costos de producción, mantención y operación. En el ámbito de la evaluación, mantención y operación, además de un análisis básico del impacto y de las externalidades positivas que un proyecto de esta naturaleza conlleva.

En el capítulo final se analizan las normativas vigentes que regulan tanto los distintos proyectos de generación de biogás como los procesos productivos asociados y sus eventuales impactos en el medioambiente.







2

DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS

Mario Ávila Grothusen

2.1 Aspectos metodológicos

En el presente capítulo se revisó bibliografía, se incorporaron experiencias visitadas, consultas a encargados de biodigestores y la experiencia del autor que cuenta con una decena de proyectos de Biogás ejecutados y en funcionamiento. De esta manera, se procedió a realizar una síntesis del estado del arte del biogás desde lo más general hasta llegar a los casos particulares en la Región de Los Ríos, haciendo hincapié en detalles técnicos específicos de diferentes modelos de biodigestores y los diversos materiales que se usan en su construcción.

2.2 Digestión anaeróbica: historia y actualidad

Las primeras menciones sobre biogás se remontan al año 1600. En el siglo XVI el científico y naturalista Alessandro Volta, realizó los primeros experimentos de combustión de biogás producido en pantanos. En el año 1890 se construye el primer biodigestor a escala aplicada en la India y en 1896, en Exeter, Inglaterra, las lámparas de alumbrado público eran alimentadas por el gas recolectado de los digestores que fermentaban los lodos cloacales de la ciudad.

Tras la primera guerra mundial comienzan a difundirse en Europa las llamadas fábricas productoras de biogás, cuyo producto se empleaba en tractores y automóviles de la época (figura 1). En todo el mundo se difunden los denominados tanques Imhoff para el tratamiento de aguas cloacales colectivas y el biogás producido se utilizó para el funcionamiento de las propias plantas, en vehículos municipales y en algunas ciudades se lo llegó a inyectar en la red de gas comunal.

En 1896, en Exeter, Inglaterra, las lámparas de alumbrado público eran alimentadas por el gas recolectado de los digestores que fermentaban los lodos cloacales de la ciudad

16

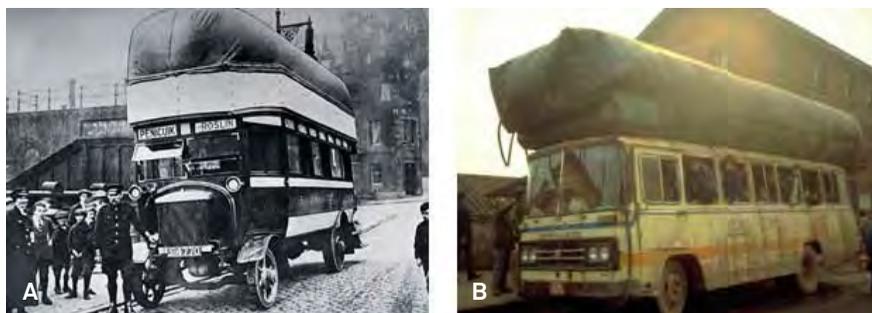


Figura 1 (A - B): Buses funcionando con biogás durante la segunda guerra mundial y posterior a ella¹.

Durante los años de la Segunda Guerra Mundial comienza la difusión de los biodigestores a nivel rural tanto en Europa como en China e India, que se transforman en líderes en la materia. Esta difusión se ve interrumpida por el fácil acceso a los combustibles fósiles de las décadas posteriores. Recién en 1970, producto de una crisis energética, se reinicia con gran ímpetu la investigación y difusión del biogás en todo el mundo, incluyendo la gran mayoría de los países latinoamericanos [1] [2] [3].

¹ Fuente: <http://communitybysesign.co.uk/>



Las últimas dos décadas han sido especialmente fructíferas en cuanto a descubrimientos sobre el funcionamiento microbiológico y bioquímico del proceso de producción de biogás, gracias al nuevo material de laboratorio que permitió el estudio de los microorganismos que intervienen en éste, y que operan en condiciones anaeróbicas. Estos progresos en la comprensión del proceso han estado acompañados por importantes logros tecnológicos, como la incorporación de sistemas de agitación, control de temperatura y sistemas de premezcla, entre otros.

Según Preston [4] los países generadores de tecnología más importantes en la actualidad son: China (más de 5 millones de biodigestores), India, Alemania (más de 25.000 biodigestores), Holanda, Francia, Gran Bretaña, Suiza, Italia, EE.UU. y Filipinas. A lo largo de los años, la tecnología de la digestión anaeróbica se ha ido especializando, abarcando actualmente diferentes campos de aplicación con objetivos muy diversos. Hoy en Chile existen plantas industriales de biodigestión para tratar los desechos de la industria porcina, lechera bovina, tratamiento de aguas servidas y RILES de la industria láctea, como se verá en el capítulo 2.8.

2.3 Descripción de un biodigestor

Un biodigestor es un estanque o contenedor cerrado, hermético e impermeable (también llamado Reactor), dentro del cual se deposita el sustrato (material orgánico a fermentar como excrementos de humanos y animales, purines, hojas, pasto, frutas y desechos vegetales) agregando agua a la mezcla. Dentro del biodigestor se produce la descomposición anaeróbica, de la cual se obtiene Biogás y Biofertilizante. Este sistema también puede incluir una cámara o estanque de carga, una cámara o sistema de decantación antes del reactor, un dispositivo para captar y almacenar el biogás, sistemas de agitación y calefacción dentro del biodigestor y cámaras o estanques de acumulación post tratamiento a la salida del biodigestor. En la figura 2, se muestra esquemáticamente el ingreso de sustrato al biodigestor, la salida de digestato y la salida de biogás desde la parte superior del biodigestor (Gasómetro) hacia un Grupo Electrónico.

Esquema funcional de un biodigestor

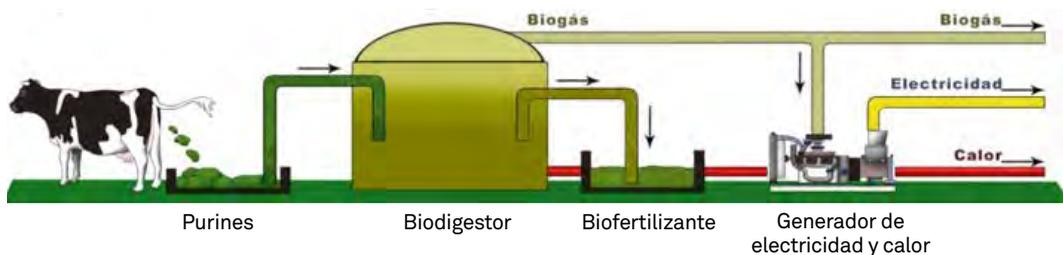


Figura 2: Esquema de un biodigestor en base a purines.
Fuente: Biotecsur.

2.4 Biogás

El biogás es una mezcla de gases producto de la descomposición microbológica que se puede encontrar, habitualmente, en la superficie de pozos o lagunas con deposición de desechos orgánicos (por ejemplo: hojas de árboles, plantas o restos de origen animal) durante meses o años. Es por esto que se le conoce también como el “gas de los pantanos”. El biogás contiene mayormente metano lo que lo hace interesante como combustible (figura 3), la otra gran parte es dióxido de carbono que corresponde a un gas incoloro, inodoro y no combustible.

2.4.1 Composición del biogás

La composición de biogás depende del tipo de desecho utilizado y las condiciones en que se procesa. Generalmente contiene metano CH_4 en un rango de 50 a 70% y dióxido de carbono CO_2 en un rango de 50% a 30%, dependiendo específicamente de los contenidos de carbohidratos, proteínas y grasas que contenga el sustrato. Además el biogás también contiene algunas impurezas como ácido sulfhídrico H_2S , agua y algunos compuestos volátiles como hidrocarburos halogenados y siloxanos, entre otros [5].

En cuanto a los gases considerados impuros, es importante señalar al ácido sulfhídrico H_2S ya que es un compuesto corrosivo y se debe filtrar para evitar el deterioro de las cámaras de combustión en los motores que se alimentan con biogás². En cocinas o calderas se debe considerar salida de gases de combustión a la atmosfera asegurando que no existan escapes que pudieran ser inhalados.

2.4.2 Características y usos del biogás

El biogás por naturaleza es un combustible que en contacto con oxígeno y con una fuente de calor, genera fuego. Contiene 5.600 Kcal/m^3 a presión atmosférica [6]. De forma natural tiene similar olor al gas licuado, lo que permite detectarlo al olfato. Al ser quemado en una cocina no presenta mal olor. Al tener más del 50% de metano es posible utilizarlo de forma similar al gas natural para generar calor en cocinas y calderas o generar energía eléctrica con grupos electrógenos adaptados para funcionar con biogás (Figura 4).



Figura 3: Caldera a biogás.
Fuente: Biotecsur.



Figura 4 (A - B): Caldera a biogás
y grupo electrógeno a biogás.
Fuente: Biotecsur.

²Ver NCh 382, año 2004, H_2S clasifica como Clase 8.

Existen ejemplos en Chile de diversas aplicaciones para el biogás, como refrigeradores y cocinas domiciliarias, calderas industriales, lámparas para calefacción en planteles porcinos (Figura 5), motores para generar movimiento mecánico y bombas o alternadores para generar electricidad.



Figura 5: Calefactor porcino a biogás, CET (Centro de Educación y Trabajo), Talca. Fuente: Biotecsur.

2.5 Fases de la digestión anaeróbica y producción de biogás

En el proceso de biodigestión anaeróbica se distinguen cuatro etapas ó fases:

- Hidrólisis
- Acidogénesis
- Acetogénesis
- Metanogénesis

En la primera fase llamada hidrólisis se descomponen las moléculas más complejas, como proteínas, hidratos de carbono y lípidos, que son hidrolizados por enzimas producidas por los microorganismos fermentadores. De esta descomposición se producen compuestos solubles como aminoácidos, azúcares y ácidos grasos de cadena larga, que pueden ser descompuestos por bacterias acidogénicas. Producto de la acción de las bacterias acidogénicas se generan ácidos grasos de cadena corta, alcoholes, hidrógeno y dióxido de carbono, siendo los ácidos grasos de cadena corta transformados por los microorganismos acetogénicos en ácido acético, hidrógeno y dióxido de carbono. En la última etapa, las bacterias metanogénicas producen metano a partir del hidrógeno, dióxido de carbono y ácido acético [5].

Es importante destacar que este proceso solo puede realizarse dentro de un rango de temperatura que va desde 1°C hasta los 60°C como máximo, y dentro de este rango de temperaturas existen tres rangos donde intervienen diferentes tipos de bacterias metanogénicas con diferentes velocidades de producción de biogás. Estos rangos podemos clasificarlos en [7]:

1. Rango Psicrófilico (desde 1°C hasta 25°C), con producciones lentas de biogás.
2. Rango Mesofílico (desde 32°C hasta 42°C), con producciones medias de biogás.
3. Rango Termofílico (desde 50°C hasta los 60°C), con producciones altas de biogás.

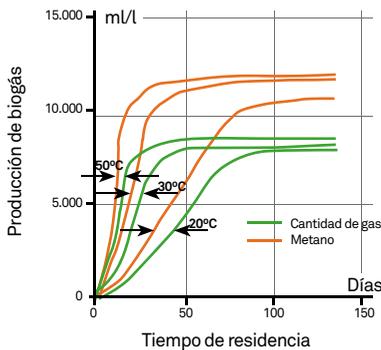


Figura 6: Gráfico temperatura versus producción de biogás [5].

En la figura 6 se observa que a altas temperaturas hay mayor producción de biogás y en menor tiempo que a bajas temperaturas. Por otro lado a menores temperaturas se pueden lograr producciones similares de biogás aumentando el tiempo de residencia o Tiempo de Retención Hidráulica (TRH), el cual se define como el valor, en días, del cociente entre el volumen del digestor y el volumen de carga diaria.

En términos generales, la producción de biogás a partir de una biomasa particular es proporcional a parámetros tales como el contenido de materia orgánica (medido como DBO5), sólidos volátiles (materia combustible), y contenido energético. Ello puesto que la producción de biogás será proporcional al contenido de carbono disponible.

Al respecto, los compuestos ricos en lignina, tales como madera (y sus derivados) o paja, presentan una baja digestibilidad y por ende menor producción de biogás, así como sustratos con sustancias inhibitoras. Por otra parte, una relación equilibrada de nutrientes en el sustrato evita una utilización incompleta de sustratos. Una relación óptima carbono/nitrógeno/fósforo (C/N/P) es alrededor de 125/5/1.

2.6 Biofertilizante

Se le llama Biofertilizante a la materia orgánica (digestato) proveniente del proceso de biodigestión, el cual debe pasar dentro del biodigestor entre 30 y 100 días de TRH, dependiendo del tipo de biodigestor y temperatura de trabajo. En este proceso, parte de la materia orgánica se mineraliza, quedando los nutrientes disponibles para las plantas, por lo que es un fertilizante natural de buena calidad, que se aplica a praderas y cultivos. Este producto se compone de una fase sólida llamada “biosol” y una fase líquida llamada “biol”, aunque comúnmente se le llama Biofertilizante a ambas fases.

Existen biodigestores que utilizan solo la fase líquida (con separación de sólidos antes del biodigestor), por tanto el digestato será líquido, y es aplicable directamente con sistemas de riego por aspersión o carro purinero. Otros biodigestores diseñados para alimentarse con ambas fases (mezcla de sólidos y líquidos), producen digestato con una mezcla de biol y biosol. Para regar esta mezcla se debe utilizar un carro purinero o separar las fases para poder usar el biol en un sistema de riego por aspersión (para evitar que se tapen las boquillas de los equipos de riego). En los biodigestores analizados en este estudio denominados Sistemas Prediales de Biodigestión (SPB) no se contempla el uso exclusivo de residuos sólidos sin dilución como sustrato, ya que esto requiere un sistema de biodigestión tipo Batch³.

En la figura 7 se aprecian aplicaciones de digestato de purines de vacunos tratados en un biodigestor domiciliario y también se aprecia un sistema de riego con un carro adaptado para aplicar biol en praderas.



Figura 7 (A - B): Aplicación de biofertilizante. Fuente: Biotecsur.

2.6.1 Ventajas del uso de biol (fase líquida)

Dentro de las ventajas del uso del biol, podemos mencionar las siguientes:

1. Al igual que otros fertilizantes orgánicos, permite un mejor intercambio catiónico (capacidad que tiene un suelo para retener y liberar iones positivos) en el suelo, ampliando la disponibilidad de nutrientes. Igualmente, ayuda a mantener la humedad y mantiene un microclima adecuado para los organismos vegetales. En el caso de purines, la biodigestión de estos aumentaría la disponibilidad de nitrógeno de la biomasa residual. Al respecto en el anexo 7.1 se adjunta una tabla con los resultados de análisis comparativo entre purines y biol de la zona de Purranque, además de resultados de otro ensayo.

³ Sistema de biodigestión a base de tres o más estanques preparados para digerir desechos orgánicos secos o de fase sólida.



2. Se puede aplicar junto con agua en sistemas de irrigación.
3. En pequeñas cantidades, cuando presenta compuestos orgánicos bioestimuladores del crecimiento, es capaz de promover actividades fisiológicas y estimular el desarrollo de las plantas, sirviendo para el enraizamiento (aumenta y fortalece la base radicular o las raíces de la planta), mejora el follaje, mejora la floración y activa el vigor y poder germinativo de las semillas, traduciéndose todo esto en un potencial aumento significativo de las cosechas.
4. Ensayos realizados con diferentes cultivos en diversas partes del mundo muestran que utilizar solo biol sería suficiente para lograr la misma o mayor productividad que usando fertilizantes químicos [8], [9], [10], [11], [12].
5. Cabe destacar que los desechos orgánicos sometidos al proceso de biodigestión eliminan la mayoría de patógenos, reduciendo drásticamente el riesgo de transmitir enfermedades y dispersar semillas de malezas. En un análisis solicitado por la empresa Biotecsur, el año 2012 se sometió una muestra de RILES de fosas sépticas a biodigestión durante 50 días y se analizaron las muestras digeridas. El resultado demostró que se elimina la presencia de coliformes y Salmonella, principalmente. Detalles del análisis en el anexo 7.2

2.6.2 Ventajas del uso de biosol (fase sólida)

A diferencia del biol, el biosol contiene la fracción sólida en donde se encuentra la mayor parte del carbono. Dentro de las ventajas del uso del biosol, al igual que otros fertilizantes orgánicos que contienen carbono, podemos mencionar las siguientes:

1. Regula la nutrición de las plantas. Los cultivos pueden ser fortalecidos y ocurrir una mejora del rendimiento o en la calidad del suelo.
2. Confiere a los suelos arenosos una mayor cohesión, mejorando con ello la retención de los nutrientes en el suelo.
3. Mejora la estructura y la capacidad de retención de la humedad favoreciendo la actividad biológica del suelo y la porosidad del mismo.
4. Al combinarlo con materia orgánica acelera el proceso de compostaje.
5. Reduce la aplicación de abono, al haberse digerido buena parte de la materia orgánica durante el proceso de biodigestión. Esto es especialmente relevante en relación al purín fresco.
6. Inhibe el crecimiento de hongos y bacterias que afectan a los organismos vegetales.
7. Al fortalecer la biología y fertilidad del suelo, reduce los factores de erosión.
8. Mejora la disponibilidad de algunos nutrientes en comparación con el purín, tal como se mencionó para el biol.

2.7 Materiales, tipos y aplicaciones de biodigestores

En Latinoamérica se han desarrollado biodigestores del tipo estructura flexible, buscando bajar los costos, mantener la eficiencia y aumentar la rapidez en su instalación, con la construcción de biodigestores enterrados (tipo laguna) usando la tierra como estructura soportante. Esta alternativa combinada con materiales de alta resistencia, como geomembranas elásticas y materiales resistentes al biogás, permiten una larga vida útil, incluso con exposición solar. En las siguientes tablas y figuras se describen las distintas tecnologías y materiales para biodigestores más conocidos.

Tabla 1: Biodigestor de Domo Flotante tipo Hindú

Material	Aplicación	Ventaja	Desventaja
Domo de Acero o Fibra de vidrio, estructura de ladrillo, greda.	Para desechos animales, aguas negras.	Presión constante de salida del biogás, acepta alimentación semiconstante.	Mayor dificultad y costos de instalación y mano de obra en relación a un sistema de estructura flexible.

22

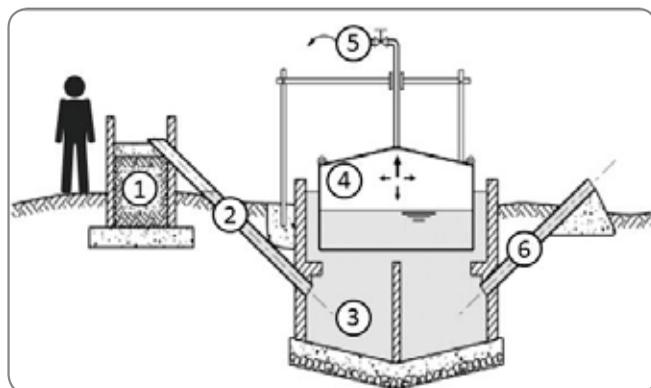


Figura 8: Biodigestor de domo flotante, tipo Hindú [13].

1. Cámara de llenado
2. Tubo de entrada sustrato
3. Cámara de biodigestión
4. Domo o cupula/ gasómetro
5. Salida de biogás
6. Tubería de salida digestado



Figura 9: Biodigestor de domo fijo (tipo chino), Sector Coltauco. Fuente: Biotecsur.



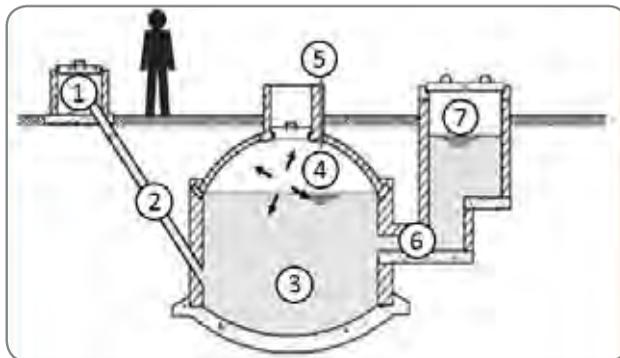
Figura 10: Biodigestor de domo flotante tipo Hindú. Fuente: Biotecsur.



Figura 11: Biodigestor de estructura flexible. Fuente: Biotecsur.

Tabla 2: Biodigestor de Domo Fijo tipo Chino

Material	Aplicación	Ventaja	Desventaja
Ladrillo, mortero, cemento, greda, Fibra de Vidrio, Metal.	Desechos de animales, aguas negras, desechos vegetales.	Larga vida útil (20 años aproximadamente), alta presión del biogás 1 a 1,5m columna de agua. Acepta alimentación semiconstante.	Altos costos de instalación en relación a sistema de estructura flexible, se requiere estructura resistente para altas presiones del biogás.

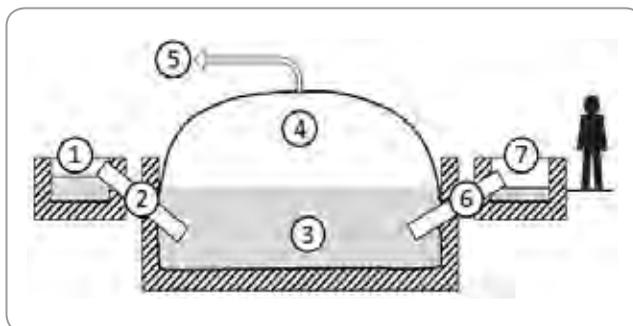


1. Cámara de llenado
2. Tubo de entrada sustrato
3. Cámara de biodigestión
4. Domo fijo/ gasómetro
5. Salida de biogás
6. Tubería de salida digestado
7. Cámara de acopio digestado

Figura 12: Biodigestor de domo fijo, tipo Chino [13].

Tabla 3: Biodigestor de Estructura Flexible

Material	Aplicación	Ventaja	Desventaja
PVC, Polietileno (mangas de 0,1mm), HDPE, EPDM (geomembranas)	Todo tipo de desechos orgánicos.	Según material mediana y larga vida útil. Bajos costos de instalación en relación a sistemas de estructura rígida. 100% hermético. Acepta alimentación semiconstante.	Requiere mayor protección para evitar roturas.

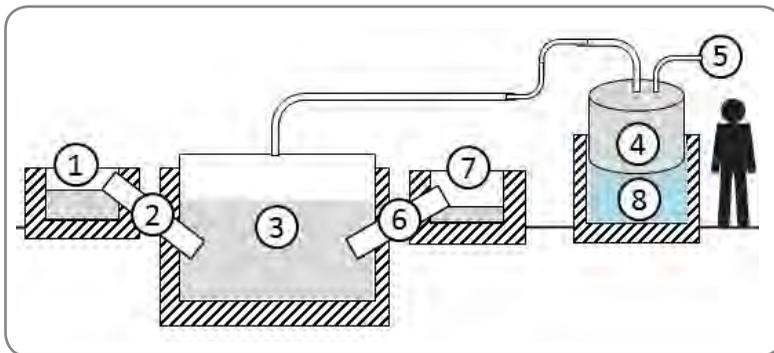


1. Cámara de llenado
2. Tubo de entrada sustrato
3. Cámara de biodigestión
4. Domo o gasómetro flexible
5. Salida de biogás
6. Tubería de salida digestado
7. Cámara de acopio digestado

Figura 13: Biodigestor de Estructura Flexible.

Tabla 4: Biodigestor de Estructura Rígida y Gasómetro Externo

Material	Aplicación	Ventaja	Desventaja
Estructura de Fibra de vidrio, Metal, Hormigón.	Desechos orgánicos líquidos y sólidos, aguas negras (WC).	Rapidez en la instalación cuando son estanques, prefabricados, bajos costos de instalación con materiales plásticos. Acepta alimentación semiconstante.	Dificultad para realizar limpieza por las puertas o tapas de entrada. Tamaños limitados.



1. Cámara de llenado
2. Tubo de entrada sustrato
3. Estanque de biodigestión
4. Gasómetro externo
5. Salida de biogás
6. Tubería de salida digestado
7. Cámara de acopio digestado
8. Estanque con agua

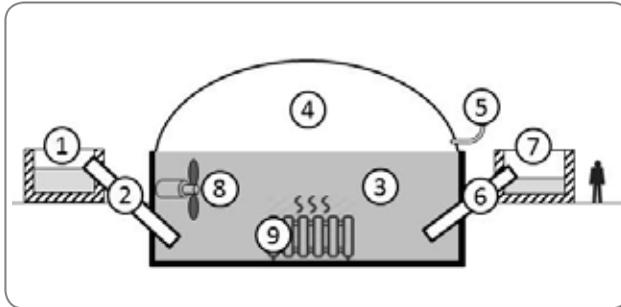
Figura 14: Biodigestor de estructura rígida y gasómetro externo.



Figura 15 (A-B): Biodigestor de estructura rígida y gasómetro externo.
Fuente: Valentina Torres.

Tabla 5: Biodigestor de Flujo Inducido, Estructura Rígida y Gasómetro Flexible

Material	Aplicación	Ventaja	Desventaja
Estructura de Hormigón o Acero impermeabilizado, Cubierta flexible de Geomembranas EPDM, PVC, HDPE.	Todo tipo de desechos orgánicos.	Alta eficiencia en relación a sistemas sin calefacción y sin agitación como los anteriores citados. Vida útil 20 años (aproximadamente). Recomendado para procesos industriales.	Altos costos de inversión en relación a los sistemas anteriormente citados, alta tecnología instalada (agitación, calefacción).



1. Estanque de recepción
2. Tubo de entrada sustrato
3. Estanque de biodigestión
4. Gasómetro flexible
5. Salida de biogás
6. Tubería de salida de digestado
7. Estanque de acopio digestado
8. Agitador
9. Calefacción

Figura 16: Biodigestor de Flujo Inducido, Estructura Rígida y Gasómetro Flexible.



Figura 16 (A - B): Biodigestor sistema estructura hormigón, domo flexible, agitación constante y calefacción.
Fuente: Biotecsur.

2.8 Experiencias de biodigestión en el país

En Chile existen actualmente 74 biodigestores instalados, de los cuales 18 unidades han sido instaladas para el sector lechero, el resto para el tratamiento de aguas servidas y RILES industriales⁴. Además, en distintas partes del país se encuentran experiencias de biodigestores aplicados al sector domiciliario para tratar los desechos orgánicos de animales domésticos (cerdos, perros, aves de corral y ganado).

El tratamiento con biodigestores es una alternativa eficiente para bajar la Demanda Biológica de Oxígeno (DBO5) de los residuos orgánicos, en otras palabras, para reducir su contenido de materia orgánica. Es por esta razón que se han instalado biodigestores en grandes plantas de tratamiento como La Farfana en Santiago y Essal Osorno. En la planta depuradora La Farfana, las empresas Metrogas y Aguas Andina en Santiago producen biogás gracias al proceso de tratamiento de las aguas. En esta planta se producen cerca de 24 millones de m³ anuales de biogás, que permite sustituir al gas natural como materia prima en la producción de gas de ciudad, beneficiando a 100.000 usuarios este combustible en la Región Metropolitana [14]. Otras plantas importantes han sido instaladas en planteles de producción animal en confinamiento (cerdos o aves) de empresas como Agrosuper, para el tratamiento de los purines de sus planteles.

Los biodigestores de mayor tamaño instalados en Chile son de estructura rígida y cúpula flexible o con gasómetro externo, integran agitación y calefacción permanente, los cuales se instalan para brindar energía eléctrica y solucionar graves problemas de contaminación. Este tipo de biodigestores tienen un mayor costo inicial y poseen sistemas que hacen más complejo y costoso su operación y mantenimiento. Por lo cual solo se han instalado principalmente en grandes lecherías sobre 1000 vacas estabuladas, en criaderos de más de 20.000 cerdos y plantas de tratamiento de aguas servidas de gran tamaño. En la zona central la empresa Genera Austral ha instalado ya dos plantas para tratar los desechos de la producción porcina a gran escala, “Santa Irene” y “Las Pampas”, estas plantas se instalaron en la Empresa Max Agro, ubicadas en las comunas de Las Palmas y Pichidegua. Las plantas tienen una potencia instalada de 800 KW y generan energía eléctrica para aproximadamente 2500 familias de la zona circundante [15].

26



Figura 17: Planta biogás en la Región de O'Higgins para purines de cerdos.
Fuente: Genera Austral.

⁴ Schwager Energy 2016.



Figura 18: Co-generación con grupo electrógeno de 200 KW a biogás en planta de Genera Austral.
Fuente: Biotecsur.

Estos reactores anaeróbicos trabajan a temperaturas de 32 a 42 °C (mesófila), o 52 a 60°C (termófilas), poseen sofisticados sistemas de control y están, generalmente, conectados a equipos de co-generación (electricidad y calor, figura 18).

En términos generales, la mayor parte de esta tecnología se ha incorporado de las experiencias extranjeras, pero también se está desarrollando y aplicando tecnología propia para el tratamiento de purines en lecherías y suero en queseras. Este es el caso de dos sistemas instalados por la empresa Schwager Energy (proyecto L&E, Lácteos y Energía) en la Región de los Lagos, funcionando para digerir desechos de la producción quesera tales como suero, lactosa y aguas de lavado. La primera planta, instalada en la ciudad de Purranque, produce energía eléctrica con una potencia instalada de 400 KW para venta al SIC (Sistema Interconectado Central). La segunda planta de este tipo en funcionamiento se encuentra en la ciudad de Osorno (Figura 19) y produce biogás para reemplazo de gas licuado (GLP) en los procesos de producción de queso [16].



Figura 19 (A - B): Planta de biogás para residuos lácteos de Schwager Energy, en Osorno, 2016.
Fuente: Biotecsur.

En el sector lechero se han implementado más de una decena de biodigestores, desde 20 a 300 vacas en ordeña durante la última década, desarrollándose en la Región de los Lagos modelos específicos de biodigestores para el tratamiento de desechos orgánicos en lecherías. En su mayoría corresponden a sistemas de laguna con estructuras superiores flexibles de geomembrana (Figura 20) o reactores de hormigón con gasómetro flexible. Estos sistemas producen biogás para generar electricidad y energía térmica. El biol obtenido se aplica en las praderas como fertilizante natural.

Uno de estos ejemplos es la planta de biogás instalada en el Fundo “El Anima”, sector Purranque, Región de los Lagos (Figura 21), este sistema aprovecha los purines generados en los patios de espera de la sala de ordeña por una masa de 200 vacas promedio, produciendo biogás para calentar el agua requerida en los procesos de limpieza de equipos, mejorando el proceso de canalización de los purines y obteniendo digestato (residuo estabilizado de la biodigestión) cuya fase líquida (biol) se aplica en praderas mediante un sistema de riego. Cabe destacar que en este proyecto las aguas servidas del baño de los operarios son ingresadas a los biodigestores. En el anexo 7.1 se presenta el resultado de un análisis de nutrientes de purín crudo versus digestato para efectos comparativos.

A escala domiciliar se han instalado biodigestores de estructura rígida con buenos resultados donde se han hecho funcionar refrigeradores con biogás. Una de estas experiencias se realizó el año 2008 en la comuna de Empedrado, Región del Maule y otra el año 2010 en Coltauco (Figura 10). En este tipo de biodigestor se incorporan excretas de gallinas, cerdos y caballos. Así mismo, en la Región de Los Ríos se han desarrollado iniciativas descritas en el punto 2.9.

Finalmente, si bien los rellenos sanitarios no son biodigestores propiamente tales, una importante producción de biogás en Chile se obtiene de la captación de éste desde rellenos sanitarios, como el caso del relleno Lomas Los Colorados, de la empresa KDM, en la Región Metropolitana (Figura 22).

En el Km 35 al sur de Puerto Montt, la empresa REXIN utiliza el biogás de su relleno sanitario para calentar los líquidos percolados y evaporarlos en una torre, eliminando



Figura 20: Biodigestores de material flexible tipo laguna, en la Región de los Lagos, 2010.
Fuente: Biotecsur.



Figura 21: Biodigestores en fundo “El Anima”, sector Purranque, 2014.
Fuente: Biotecsur.



Figura 22: Esquema de sistema de captación y transformación del biogás en energía eléctrica en el relleno sanitario Loma Los Colorados [17].
Fuente: elaboración propia.

así riesgos de contaminación⁵. Es importante mencionar que los rellenos sanitarios no pueden considerarse tecnologías alternativas a los biodigestores, puesto que la eficiencia de captación del biogás generado en éstos, dado que se trata de contenedores abiertos a la recepción de basura (no herméticos), fluctúa entre un 25 y 75% [18]. Ello implica un desaprovechamiento de energía e importantes emisiones de metano (un potente gas con efecto invernadero) a la atmósfera. Asimismo, por el hecho que los nutrientes se mezclan con diversas sustancias tóxicas del resto de basura, en el caso de rellenos sanitarios no se produce biofertilizante aprovechable.



Figura 23: Sistema de Biodigestión Predial para 40 vacas, Chiscailhue, 2015.
Fuente: Biotecsur.

2.9 Estado actual, producción y uso de biogás en la Región de Los Ríos

En la actualidad en la región se puede dar cuenta de tres experiencias piloto de producción de biogás que permitirá generar energía térmica para calentar agua y utilizarla en los diferentes procesos de producción o su uso en el hogar. El primer piloto es un biodigestor para una lechería 40 vacas, el segundo para una lechería de 70 vacas y tres pilotos domiciliarios.

Caso 1

En la localidad de Chiscailhue, comuna de Río Bueno, en noviembre de 2015 se instaló un SPB para 40 vacas, utilizando un pozo como estructura soportante para el biodigestor y una cúpula flexible con geomembrana desmontable (Figura 23). El sistema cumple con tratar los purines de forma segura y limpia y generará biogás para calentar 80 litros de agua a 80°C y realizar el lavado de los equipos de la sala de ordeña.



Figura 24: Biodigestor estructura flexible tipo laguna, Reumen, 2015.
Fuente: Biotecsur.

Caso 2

En la comuna de Paillaco, sector Reumen, en noviembre de 2015 se instaló un SPB para 70 vacas también con sistema de cúpula flexible e impermeabilización con geomembrana inferior, lo que permite trabajar grandes volúmenes utilizando un pozo como estructura soportante del volumen interior (Figura 24). El sistema cumple con las normativas vigentes (DS 40 y DS 90) para el tratamiento de los purines de forma segura y limpia, generando biogás para calentar 150 litros de agua a 80°C y realizar el lavado de los equipos de la sala de ordeña.

⁵ Fuente: www.rexin.cl



Figura 25 (A - B - C): Biodigestores de estructura rígida y domo flotante en la Región de Los Ríos, 2015.
Fuente: Valentina Torres (A), Patricio Castro (B y C).

Caso 3

El año 2015, la Gobernación Provincial de Valdivia desarrolló un estudio, en el marco del proceso de modernización y mitigación de riesgos del Ministerio del Interior sobre el autoabastecimiento hídrico y energético a partir de la cosecha de aguas lluvias y la producción de biogás a través del tratamiento de residuos orgánicos que se llevó a cabo en zonas rurales de las comunas de Mariquina (sector costero), Máfil y Los Lagos (sector cordillerano) de la provincia de Valdivia, proyecto en el cual se habilitaron tres pilotos con biodigestores de proceso continuo para uso domiciliario en la Provincia de Valdivia. Los biodigestores operan con estiércol de bovino u ovino según sea la disponibilidad de recursos en cada sector. Estos pilotos pretenden estimar la viabilidad del uso de energías proveniente de la generación de biogás en sectores apartados de la provincia de Valdivia, revalorizando los desechos animales disponibles, disminuyendo la emisión de metano y contribuyendo a suplir parte de la demanda energética necesaria en los hogares de familias rurales que trabajan economías de subsistencia o con micro emprendimientos cuyos procesos necesiten de energía (ejemplo: Artesanía en lana, específicamente el teñido de la misma). Estos pilotos están operando desde agosto de 2015 (figura 25).

2.10 Experiencias tecnológicas pertinentes a producción láctea ganadera

En la Región de Los Lagos existe la mayor cantidad de biodigestores del país relacionados con producción láctea ganadera, existiendo 3 tipos de instalaciones:

- **Biodigestores de estructura rígida con gasómetro externo de capacidad industrial.** Este tipo de plantas están instaladas en Purránque, Osorno y Puerto Octay, para tratar suero de leche en la producción quesera.
- **Biodigestores de tipo laguna con estructura superior flexible (gasómetro integrado)** para lecherías, principalmente para lecherías pequeñas a medianas. Este tipo de biodigestores están instalados en predios lecheros para tratar los purines generados en los patios de espera, utilizando el biogás para generar electricidad y calor.
- **Biodigestores de tipo estructura rígida y gasómetro flotante,** principalmente para instalaciones domiciliarias y sistemas de producción a pequeña escala. Como se mencionó anteriormente, estos modelos de biodigestores se han instalado también en la Región de los Ríos para tratar los desechos de los baños y excrementos de animales.

En los biodigestores domiciliarios, las bostas recogidas se licuan con agua para ingresarlas al biodigestor (Figura 26). Junto con el purín de animales se puede ingresar las aguas negras y agregar otros desechos orgánicos disponibles como “bagazo” de la producción de chicha, excremento de perros, excremento de aves gallinas, etc.

Es importante destacar que los biodigestores de geomembrana flexible en su mayoría son bolsas con una entrada y una salida, por lo que no permiten una limpieza adecuada. Esto provoca que se colmate o se sature de sólidos (fibra) después de 2 a 3 años aproximadamente, en los casos en que el sustrato que ingresa contiene mucha fibra y poca agua, obligando a reemplazar la bolsa completa. Es por esta razón que se recomienda instalar biodigestores con cúpula desmontable ya sea flexible o rígida con gasómetro (Figura 27), que permita realizar limpieza y además instalar un buen sistema de rejilla o separación de sólidos antes de ingresar al biodigestor.

Ambas tecnologías, Estructura Rígida (fibra de vidrio, plástico) y Estructura Flexible (figura 28), están disponibles en el sur de Chile. Para predios con más de 11 vacas y que producen en promedio más de 100 litros de purines por día es conveniente considerar biodigestores de estructura flexible ya que los volúmenes son más grandes lo que dificulta trabajar con estructuras rígidas por los costos de transporte y montaje.



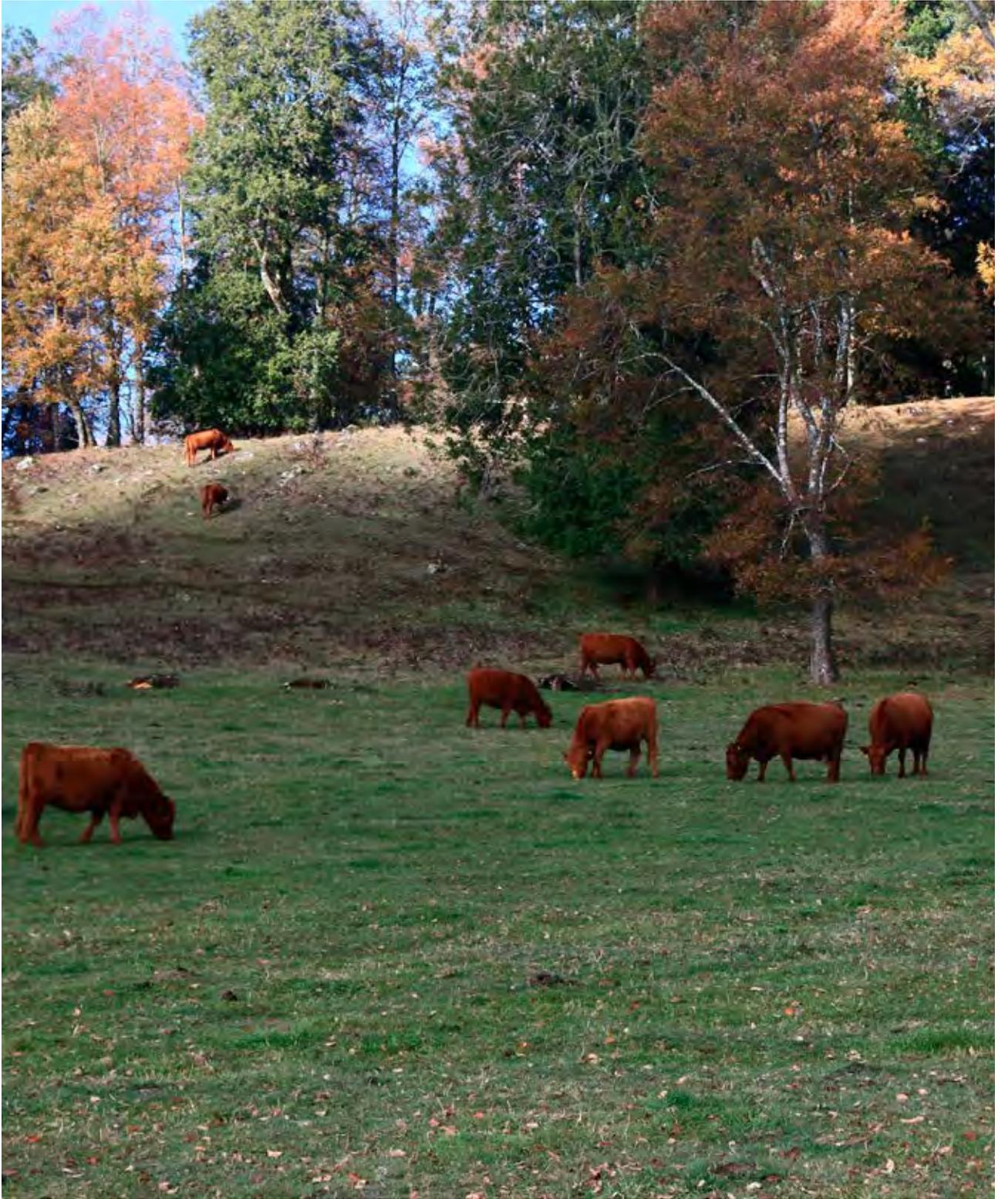
Figura 26 (A-B): Recolección, mezcla y llenado biodigestor domiciliario, 2008.
Fuente: Biotecsur.



Figura 27: Biodigestor domiciliario de estructura rígida y cúpula flexible, para 20 cerdos, biogás para cocinar, 2008.
Fuente: Biotecsur.



Figura 28: Biodigestor estructura flexible para 80 vacas, Puyehue, 2013.
Fuente: Biotecsur.







3

ESTIMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE BIOMASA, GENERACIÓN DE BIOGÁS Y SU POTENCIAL ENERGÉTICO

Alfredo Erlwein y Eliana Sotomayor

3.1 Estimación de las distintas biomásas residuales agropecuarias disponibles para la generación de biogás en la Región de Los Ríos

La biomasa es toda materia orgánica⁶ en su estado inicial o aquella procedente de la transformación natural o artificial de la misma. La bioenergía o energía de la biomasa, corresponde a toda la energía proveniente de la quema directa de materia orgánica o a través de los combustibles derivados de ésta (ya sea en estado gaseoso como el biogás o en forma líquida como los biodiesel) [19]. El hecho de que se trate de una transformación reciente, excluye de este grupo a los combustibles fósiles, como el carbón, el petróleo o el gas natural [19], [20]. Según su origen la biomasa puede clasificarse en:

- **Natural:** Corresponde a toda la materia orgánica que se encuentra en la naturaleza sin ningún tipo de intervención humana como, por ejemplo, el material orgánico muerto en un bosque.
- **Residual:** Proveniente de procesos orgánicos (como los agropecuarios) o artificializados (como los agroindustriales). Algunas veces esta biomasa puede tener algún valor, y es posible su recolección, pasando de ser un residuo, a un insumo productivo.
- **Agrícola:** Corresponde a la biomasa de cultivos agrícolas.

La bioenergía y en particular el biogás, provenientes de residuos agrícolas se visualizan como una tecnología clave en la transición hacia una era de energías renovables

Es importante destacar que, si bien la bioenergía proveniente de biomasa agrícola (cultivos) es técnicamente posible, ha sido realizada en diversos países y presenta un dilema ético en relación a la seguridad alimentaria cuando superficies de aptitud agrícola son utilizadas para la generación de energía y no para el suministro de alimentos. Adicionalmente, teniendo en cuenta las proyecciones mundiales del crecimiento demográfico y el aumento de la degradación de tierras producto del manejo inadecuado, la erosión, el cambio climático y la viabilidad de la bioenergía a través de cultivos agrícolas no resulta una alternativa sostenible y justa a los combustibles fósiles. En contraposición, la bioenergía y en particular el biogás proveniente de residuos agrícolas, se visualiza como una tecnología clave en la transición hacia una era de energías renovables, pues no solo utiliza como insumo desechos de un proceso anterior, sino que permite generar energía con bajo impacto ambiental y social. En consideración con lo anterior, el potencial de biogás sólo se calculó en base a la existencia de residuos, dejándose fuera los cultivos agrícolas en este estudio.

No obstante, es relevante notar que en determinadas situaciones el uso de cantidades limitadas de cultivos agrícolas para la producción de biogás podría generar beneficios y externalidades positivas en la disminución de la presión sobre el bosque en el caso de comunidades rurales que dependen de leña para la generación de calor y cocina (ver ejemplo en capítulo 3.3.4).

⁶ Compuesto proveniente de restos de organismos vivos o muertos. La parte viva son las raíces de las plantas, bacterias, lombrices, algas, hongos, etc. La parte muerta son los restos muertos o en descomposición; hojarasca, madera y estiércol. www.fao.org/docrep/009/ah645s/AH645S05.htm



3.1.1 Aspectos metodológicos

Para efectos de cálculo, se consideraron diversas fuentes bibliográficas disponibles, en algunos casos, el estudio se enfocó en análisis de casos, detallándose todos estos a lo largo del capítulo. Asimismo, una importante base metodológica la constituyen tesis de pre y postgrado específicas en relación a estimación de potenciales de biogás en la Región de Los Ríos [19] [20] [21] dirigidas por el primer autor de este capítulo, en donde se plantean estructuras y métodos de investigación, al tiempo que se generan bases de datos e información relacionada. Toda esta información es actualizada en el presente estudio y ampliada a otros recursos no estudiados previamente. Sólo se incluyeron recursos del sector agropecuario, no considerándose otras materias primas con potencial de producción de biogás, tales como los lodos de plantas de tratamiento de aguas o de salmonicultura. Tampoco fueron considerados los cultivos agrícolas para bioenergía, puesto que tal como se analiza en el texto, éstos son cuestionados ambiental y éticamente, a excepción de casos justificados de pequeña escala.

Dentro de los supuestos asumidos en este capítulo se encuentran:

Lecherías:

- Energía biogás=6 Kwh/m³ (se asume 60% de metano)
- Dilución de purines constante y equivalente a 50%
- Período producción leche/vaca= 6 meses/año⁷
- Condiciones y superficie de corral/animal constante⁸
- Producción de fecas/animal constante, 10% del peso vivo⁹
- Diferencia de peso/animal según segmento productivo

Ferías Ganaderas:

- Funcionamiento: 52 semanas /año / 1 día /semana
- Permanencia de animales: 1,5 días /semana
- Rendimiento de estiércol líquido: 40 m³ de biogás/ estiércol líquido

Productores de cerdos:

- Recolección de estiércol: 40% de estimación en base a diversas situaciones; animales en pastoreo, pastoreo con encierro nocturno y estabulación permanente
- Rendimiento de estiércol líquido: 60 m³ estiércol líquido

Aves:

- 70 m³ biogás/ m³ estiércol

⁷ Se asume que en la AFC y pequeña agricultura, los partos y producción lechera se concentran en el período primaveral tendiendo a la estacionalidad más que al funcionamiento continuo. Asimismo, se asume que en este segmento productivo los períodos de lactancia son menores que en los planteles altamente tecnificados o de gran escala.

⁸ La cantidad de purines de un plantel está determinada por la capacidad de recolección de estiércol (principalmente en los patios de espera) y el grado de dilución (determinado fuertemente por la separación de aguas lluvias a través de techumbre y canaletas). La extensión de los patios y techumbres varía sustantivamente entre planteles, variabilidad que se obvia para efectos de cálculo.

⁹ Como se aprecia posteriormente, se establecen pesos por animal diferentes para cada tamaño de plantel, bajo la premisa que planteles más grandes y tecnificados presentarán animales más grandes (vacas de alta producción) que planteles menores.

Cervecerías:

- El porcentaje de metano de este tipo de biogás es de 70% (alto), entonces la cogeneración tiene mayor eficiencia que generación de purines en AFC, logrando 3Kwh térmico y 2,5Kwh eléctrico/m³ de biogás.

En este estudio se analizó la biomasa residual agroalimentaria disponible en la Región de Los Ríos con potencial para generación de biogás, clasificándola como biomasa residual húmeda y biomasa residual sólida (Figura 29).

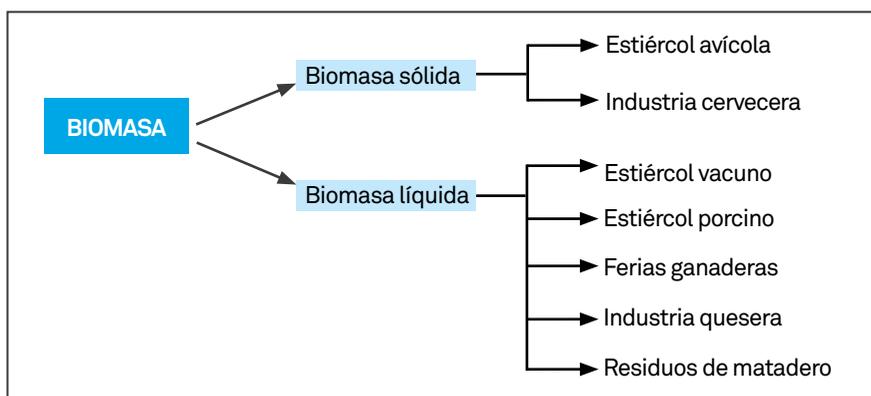


Figura 29: Clasificación de biomasa agropecuarias residuales analizadas en este estudio (adaptado de CNE-GTZ [22]).

Dado que las diferentes biomasa varían en formato (líquido o sólido), el contenido de humedad y potencial de generación de biogás, no son presentadas comparativamente en este capítulo, sino en el próximo, en términos de producción de biogás potencial.

3.1.2 Biomasa residual líquida

Se considera biomasa residual líquida a aquellos residuos que contienen menos del 10% de materia seca. Entre ellos es posible destacar a los residuos provenientes del tratamiento de aguas residuales domiciliarias, la agroindustria y los procesos agropecuarios (purines de porcino y vacuno) [20].

3.1.2.1 Purín de vacuno de lechería

El purín de vacuno corresponde a la mezcla producida por las excretas y orina de las vacas, el agua utilizada para el lavado de las instalaciones del plantel y las aguas lluvias captadas en los corrales de espera. En el caso de las lecherías de la zona sur de Chile, debido a la característica climática de alta pluviosidad, las aguas lluvia y las aguas de lavado (de equipos e infraestructura) representan casi la mitad de los purines generados en las lecherías [20].



Un animal produce en excretas el equivalente al 10% de su peso vivo al día y la dilución de las excretas es de aproximadamente un 50%

En la regiones de Los Ríos y Los Lagos, una vaca en ordeña produce, en promedio 105 litros purín/día¹⁰. En general, la generación de purines está determinada por el manejo a nivel predial, el sistema de producción, ya sea estabulado (con recolección de excretas) o en base a pastoreo (excretas en potrero no son utilizables) [21] y las dimensiones del patios de espera que determinan, en gran medida, la cantidad del agua lluvia colectada. En la Región de Los Ríos los animales estabulados no alcanzan el 5%, por lo cual la gran mayoría del estiércol generado, de características sólidas, no es recolectado, quedando como abono en los potreros pastoreados [22].

De acuerdo a la literatura y entrevistas realizadas a productores de la región de Los Ríos, se determinó que un animal produce en excretas el equivalente al 10% de su peso vivo al día y la dilución de las excretas es de aproximadamente un 50% [20], lo que resulta en una producción de purín equivalente al 20% del peso vivo por vaca al día. Es importante considerar que lo anterior estima solo el periodo colectable, el que corresponde entre a 3 a 4 horas diarias por 6 meses al año por vaca en el caso de las explotaciones pequeñas y medianas.

Conjuntamente, se determinó el peso promedio de la vaca en ordeña de acuerdo a la clasificación de estratos según tamaño predial. Los estratos se determinaron de acuerdo a la tenencia de vacas promedio en ordeña por productor, siendo mayor el peso en los planteles de mayor tamaño. Esta segmentación se realizó en base a la clasificación realizada por el Instituto Nacional de Estadísticas (INE) [23], el cual define como pequeños productores lecheros a aquellos que poseen un rebaño ganado de entre 10 a 49 cabezas. De la misma manera, el Instituto de Desarrollo Agropecuario (INDAP) se refiere a este segmento como "Agricultura Familiar Campesina (AFC)"¹¹. Para el segmento superior a 50 vacas promedio en ordeña se realizó el análisis también en base a la información entregada por la Encuesta de Ganado Bovino [23]. Los resultados se presentan en la tabla 6. Detalles de cálculo y coeficientes en anexo 7.3.1

Tabla 6: Detalle de número de animales y producción de purines por tamaño de explotación

Vacas en ordeña	Vacas en ordeña	Peso/vaca (kg) ¹²	Establo (hr/día)	Purines (m³/año)
0 a 9	1.625	450	3	3.336
10 a 24	4.288	450	3	8.804
25 a 49	3.453	500	4	10.503
50 a 99	8.751	500	4	26.618
100 a 299	17.967	550	4	60.115
300 y mas	81.153	600	4	296.208
Total	115.148			405.584

Fuente: elaboración propia, en base a INE 2011 [23].

¹⁰ Varía entre 34 a 260 lt purín/ vaca/ día

¹¹ Los estratos definidos para el segmento de AFC se estructuraron en base a la información entregada por los programas de fomento SAT, PAR, PDTI y PRODESAL de INDAP.

De acuerdo a la tabla 6, se puede determinar que la Región de Los Ríos genera anualmente 405 mil m³ de purines provenientes de la lechería, de los cuales el 5,6% corresponde a explotaciones de pequeños productores.

3.1.2.2 Estiércol de porcino

El sector porcino no presenta cifras significativas en la Región de Los Ríos [24]. A pesar de la existencia de empresas que elaboran productos en base a carne de cerdo, en la región la mayoría obtiene la materia prima desde criaderos ubicados en otras regiones como La Araucanía y Bío Bío, incluso, a través de importaciones desde Canadá y Estados Unidos [25]. No obstante, la crianza de cerdos constituye una actividad que genera aportes a la economía local, especialmente en zonas rurales y sub-urbanas.

Para propósitos del estudio, se estimó la disponibilidad de biomasa residual húmeda proveniente de la crianza de cerdo a partir de tres tamaños de explotación. Además, se asumió una producción de 0,003 m³ de estiércol/día [26] y una eficiencia de recolección de un 40%. En la tabla 7 se determina el total de cabezas de cerdo por estrato y la disponibilidad de producción anual de biomasa para este rubro en Los Ríos. Detalles de cálculo y coeficientes en anexo 7.3.1.

La disponibilidad de materia orgánica generada por la producción de porcinos en la Región de Los Ríos es de 15 mil m³/año

Tabla 7: Detalle de número de cabezas de cerdo y producción de purines por tamaño de explotación en la Región de Los Ríos

Rango	Cabezas de cerdos	Estiércol (m ³ /año)
Menos de 50 cabezas	31.924	13.983
Más de 50 y menos de 500	1.594	698
Más de 500	700	307
Total	34.218	14.988

Fuente: Elaboración propia en base al Censo Silvoagropecuario 2007 [24].

De acuerdo a la tabla anterior, la disponibilidad de materia orgánica generada por la producción de porcinos en la Región de los Ríos es de 15 mil m³/año. El segmento que corresponde a la agricultura familiar campesina (menos de 50 cabezas de porcino) genera un 93% de la biomasa total de excretas de porcinos producida en la región.

3.1.2.3 Ferias ganaderas

En la Región de Los Ríos existen dos ferias de remate: FEGOSA, ubicada en la comuna de Paillaco, y Tattersall, ubicada en la comuna de Río Bueno. Para la estimación de la producción de biomasa (principalmente purines bovinos, pero también excretas de otras especies, así como residuos orgánicos de las faenas), se utilizó la información que ambos establecimientos publican semanalmente sobre precios y cantidad de animales rematados, además de la información proveniente de entrevistas.

Detalle de entrevistas anexo 7.4

¹² Datos de peso de animales fueron obtenidos de entrevistas a productores de la Región.



En relación al manejo de purines, Tattersall almacena las aguas de lavado y posteriormente las traslada a una planta procesadora que filtra y separa los compuestos sólidos (excretas) de los líquidos. Los líquidos son eliminados a través del alcantarillado, y los sólidos son incorporados a las demás excretas producidas semanalmente por los animales rematados y luego son retirados del recinto (anexo 7.4.2, entrevista Tattersall). FEGOSA, por su parte, realiza un manejo similar con las aguas de lavado. Estas son almacenadas en dos pozos purineros y una vez que los pozos se encuentran llenos, los purines son trasladados a una planta procesadora (anexo 7.4.5, entrevista FEGOSA).

Para la determinación de la disponibilidad de biomasa residual húmeda de las ferias de ganado se analizaron datos de la temporada 2014, considerando 51 remates para el caso de Tattersall y 52 para FEGOSA. Además, según información recopilada en terreno se determinó una permanencia de 1,5 días promedio de los animales en ambas ferias.

Los parámetros utilizados para determinar la cantidad de purín producido por animal se obtuvieron del estudio de Deublein y Steinhauser [32] (información detallada en el anexo 7.3.1). En las tablas 8 y 9 se detallan las cantidades de estiércol líquido producido según tipo de animal para cada feria.

Tabla 8: Purín producido según tipo de animal Tattersall

Feria	Tipo de animal	Cabezas/año	Purín (m ³ /año)
Tattersall	Bovinos	40.197	123.000
	Porcinos	2.686	827
	Ovinos	3.599	1.455
	Equinos	7	18
Total		46.489	125.308

Fuente: *Elaboración propia.*

Tabla 9: Purín producido según tipo de animal FEGOSA

Feria	Tipo de animal	cabezas/año	Purín (m ³ /año) ¹³
FEGOSA	Bovinos	34.676	57.909
	Porcinos	1.785	280
	Ovinos	1.784	670
	Equinos	258	664
Total		38.503	59.523

Fuente: *Elaboración propia.*

Según las tablas anteriores es posible determinar que la mayor cantidad de materia orgánica es producida en Tattersall, la que junto con la biomasa generada por FEGOSA suman aproximadamente 185 mil m³ de biomasa residual líquida proveniente de ferias ganaderas en la Región de Los Ríos.

3.1.2.4 Industria quesera

Las materias primas animales y vegetales para la elaboración de productos alimenticios generan abundantes residuos susceptibles de ser aprovechados para la producción de biogás. El uso de estos residuos incrementa la productividad en las plantas productoras dando simultáneamente una solución a problemas ambientales.

¹³ Diferencias en producción de purín/cabeza entre ferias se debe a diferente tipos de ganado en remates. En el caso de vacunos, dado por proporciones de vacas, vacunos de engorda, vacas de producción lechera, bueyes, toro de reproducción vacunos jóvenes (2 años) y ternero de crianza (1 año). Vacas, vacunos de engorda.

Dentro de los residuos provenientes de la agroindustria con mayor potencial en la Región de Los Ríos, se encuentra la industria láctea y cárnica [27].

En la Región se elaboran diversos productos derivados de la leche, tales como: quesos, queso fresco y quesillo, leche fluida, mantequilla, crema fresca, manjar, yogurt y otros; siendo quesos, dentro de los productos con igual unidad de medida (kilogramos), el producto que presenta mayor elaboración (kg) [28]. Por otro lado, de la totalidad de los productos lácteos, la producción de queso es la única que genera un residuo (o subproducto, según el uso que se le dé) de alta carga orgánica llamado “lactosuero”.

El lactosuero fue considerado por largo tiempo como un desecho difícil de tratar y eliminar debido a las grandes cantidades producidas en la industria del queso. Sin embargo, actualmente es una de las materias primas más usadas en el ámbito alimentario. Su principal aplicación es la alimentación animal, especialmente como sustituto de la leche en la alimentación de crías de rumiantes y porcinos, pero también en procesos de cría y engorde. Sin embargo, la recogida y posterior secado del lactosuero para la obtención de productos en polvo resulta únicamente rentable para grandes volúmenes de lactosuero, por lo que las pequeñas y medianas queserías no pueden almacenar en sus instalaciones las cantidades necesarias para rentabilizar su transporte. En estos casos, las opciones de gestión pasan por su eliminación mediante vertido, la aplicación a terrenos o su uso directo en alimentación animal; alternativas que, sin embargo, presentan riesgos tanto ambientales como sanitarios si no se realizan de manera adecuada y controlada. Hoy en día, la posibilidad de introducir un tratamiento biológico para el lactosuero, como la digestión anaerobia, se presenta como una opción factible que puede permitir gestionar y valorizar económicamente este sustrato, gracias al aprovechamiento energético del biogás [29] [25].

En la Región de Los Ríos la producción de queso fue de 51,5 millones de kilogramos durante el 2013, cifra inferior en -0,1% (0,03 millones de kilos menos) que el 2012, representando 44,4% del total de queso producido a nivel nacional [28]. Actualmente, en la Región existen 39 fábricas en funcionamiento autorizadas por el Servicio de Salud (anexo 7.3.2), las cuales para fines prácticos de este estudio, serán divididas en láctea mayor y láctea menor, según se define a continuación:

- **Láctea mayor:** corresponde a las plantas lecheras cuyos antecedentes productivos son recopilados mensualmente por la Oficina de Estudios y Políticas Agrarias ODEPA. Se le denomina mayor porque entre ellas se encuentran las empresas que procesan un volumen de leche superior a la industria láctea menor [28].
- **Láctea menor:** corresponde a las empresas cuyos antecedentes son recopilados trimestralmente por el Instituto Nacional de Estadísticas y que, en general, cuentan con niveles de producción menor [28].

En este estudio, se asumió que la mayor parte de estos residuos corresponden a lactosuero, sin considerar los residuos provenientes del lavado de estanques, derrames u otros. Además, de acuerdo a información bibliográfica [27] y datos recopilados en entrevistas a productores, se estimó que por kilogramo de queso producido se generan 9 kilogramos de suero.



De esta forma, según el promedio de la producción regional de queso para láctea mayor y láctea menor entre los años 2013 y 2014 con datos de ODEPA y la cantidad de suero generado por unidad de queso producido, se estimó la generación anual de lactosuero para la región (ver tabla 10). Detalle de coeficientes de cálculo en tabla 32, anexo 7.3.1.

Tabla 10: Generación anual de suero húmedo, seco y materia orgánica en la Región

INDUSTRIA	Queso promedio anual 2013-2014 (kg)	Suero húmedo (kg)	Suero seco (kg)	Materia orgánica (Ton MS)
Láctea menor	1.458.477	13.126.289	787.577	689
Láctea mayor	49.843.252	448.589.264	26.915.356	23.551
Total	51.301.728	461.715.552	27.702.933	24.240

Fuente: *Elaboración propia.*

Según la tabla 10, la disponibilidad estimada de materia orgánica proveniente de la industria quesera en la Región de Los Ríos es de 24 mil toneladas, de las cuales el 3% corresponde a productores del segmento “láctea menor”.

3.1.2.5 Residuos de beneficio de ganado (mataderos)

La actividad industrial de matanza de ganado genera una gran cantidad de residuos sólidos de variada composición provenientes de las diferentes etapas del proceso. Dentro de estos residuos sólidos se encuentran subproductos no utilizados (vísceras verdes, cabezas, patas), subproductos utilizados (vísceras rojas, cuero), grasas, estiércol, contenido ruminal y decomisos de matadero. Estos residuos, suponen un sustrato muy adecuado para la biometanización [30].

Aproximadamente, entre un 20% y un 50% del peso del animal no es apto para el consumo [20]. Por lo tanto, la mayor parte de los desechos deben manejarse cuidadosamente en lo referente a su minimización, recolección, procesamiento y uso (reutilización) lo que disminuye considerablemente los daños ocasionados al medio ambiente, a los recursos naturales renovables y a la salud humana [30].

Para el análisis potencial de producción de biogás a partir de residuos de mataderos en la Región de Los Ríos, en base a la metodología desarrollada por Vermehren [27] se cuantificaron los residuos de dos mataderos autorizados: Frigorífico Valdivia y Frigorífico Balmaceda (en adelante FRIVAL y FRIGOBAL, respectivamente). Para poder determinar la cantidad de residuos de beneficio de ganado, sólo se consideraron ambas plantas de procesamiento, dejando de lado otras fuentes posibles, tales como mataderos clandestinos o faenamientos realizados en sectores rurales. En el caso de la planta FRIGOBAL, el flujo de residuos anuales se encuentra disponible en la Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS) y se utilizó como base la misma información utilizada para la planta FRIVAL. (Tabla 33, anexo 7.3.1).

La disponibilidad estimada de materia orgánica proveniente de la industria quesera en la Región de Los Ríos es de 24 mil toneladas

Para estimar los residuos de ambos mataderos se utilizó como base lo expuesto en la Declaración de Impacto Ambiental de la planta FRIVAL, presentado en el Sistema de Evaluación Ambiental [24] en donde se caracterizan sus RILEs (tabla 34, anexo 7.3.1). El volumen del flujo diario de residuos líquidos generados en la planta FRIVAL es de 650 m³ [31], asumiendo un funcionamiento de la planta durante los 365 días del año. De acuerdo a esto, y considerando los datos presentados en las tablas 33 y 35 del anexo 7.3.1, se obtuvieron los valores de materia seca. La cantidad total de materia orgánica para la planta FRIVAL fue de 495 ton/año y FRIGOBAL 25 ton/año.

3.1.3 Biomasa residual sólida

La biomasa residual sólida incluye a todos los productos orgánicos no utilizados en las actividades agrícolas y ganaderas, las forestales y la de los procesos de las industrias agroalimentarias y de transformación de la madera. Algunos ejemplos de este tipo de biomasa son la paja, el orujo, desechos de poda y raleos, aserrín, residuos de matadero, aceites y grasas, lodos provenientes de plantas de tratamiento de aguas (industriales y domésticas), residuos sólidos urbanos y estiércol avícola [20].

3.1.3.1 Estiércol avícola

El estiércol avícola se considera como biomasa residual sólida, para las aves destinadas a la producción de carne, este estiércol se halla mezclado con una cama de aserrín, denominándose Guano de Ave para Carne (GAC) [20].

En este estudio, se clasificó la producción de aves para la Región de Los Ríos en dos estratos, definidos como: pequeña y mediana explotación [32]. La disponibilidad de biomasa se estimó asumiendo que la producción diaria de estiércol líquido por ave es de 0,0001 m³ [33], [26], con una eficiencia de recolección del 50%. A continuación, la tabla 11 detalla la cantidad de biomasa disponible en pequeñas y medianas explotaciones. Según ésta, la producción anual de biomasa residual sólida proveniente de las pequeñas y medianas explotaciones de la Región de Los Ríos es de 6,6 mil m³ al año.

El estiércol avícola se considera como biomasa residual sólida, a diferencia del estiércol bovino y que al combinarse con agua (purines) se clasifica como biomasa líquida

Tabla 11: Estiércol de aves según tamaño de explotación

Rango	Total aves	Estiércol animal (m ³ /año)
Pequeñas explotaciones	270.000	4.928
Medianas explotaciones	95.000	1.734
Total	365.000	6.662

Fuente: *Elaboración propia.*



3.1.3.2 Industria cervecera

La elaboración de la cerveza trae consigo la generación de residuos sólidos, tales como orujo cerveceros (o bagazo), levaduras y los lodos generados durante el tratamiento de las aguas residuales. En particular el bagazo constituye un residuo con valor ganadero bovino dado su alto contenido calórico y alta palatabilidad, pese a sus restricciones de aprovechamiento dada su rápida perecibilidad. En caso de no poder aprovecharse estos residuos, el proceso de digestión anaerobia ofrece ventajas sustanciales para el tratamiento de los residuos orgánicos generados por esta industria, dada la posibilidad de generar energía renovable a través de la generación de biogás [34]. En particular el bagazo, dado su contenido calórico, presenta una buena generación de biogás.

El consumo de cerveza artesanal en Chile equivale sólo al 2% del total del mercado de bebestibles, pero ha ido creciendo con fuerza en un orden del 30 % anual [35].

Debido a su popularidad, la industria de la cerveza se ha ido diversificando. Es por eso que hoy en día se puede hablar de tres categorías: los cerveceros caseros, las mini cervecerías y las cervecerías industriales [36].

- Los cerveceros caseros poseen equipos rudimentarios que permiten repetir de forma casera la misma receta en distintas producciones.
- Las mini cervecerías (cerveceros artesanales, pequeños fabricantes) tienen un equipamiento más sofisticado que el de los cerveceros caseros: tanques, bombas, filtros, entre algunos, pero no llegan al nivel de industrialización que otras cervecerías.
- Las cervecerías industriales poseen mayor equipamiento y tecnología en el proceso, produciendo miles de litros que son comercializados en el mercado nacional e internacional.

En la Región de Los Ríos, la producción de cerveza ha aumentado considerablemente durante los últimos años, existiendo actualmente un total de 23 cervecerías formalizadas y 8 en vías de formalización [37].

Del grupo de las 23 empresas formalizadas existentes en la Región de Los Ríos, se determinó la producción de bagazo para 4 empresas representativas del grupo de mini cervecerías (cerveceros artesanales, pequeños fabricantes). De acuerdo a la información recopilada en entrevistas realizadas a los productores (anexo 7.7), se estimó una equivalencia de 3 a 4 kilos de malta por litro de cerveza y un 27% de materia seca para bagazo, según lo determinado en análisis de laboratorio. A continuación, en la tabla 12, se detalla la producción de bagazo para cada empresa.

Tabla 12: Producción de cerveza y bagazo para 4 empresas de la Región de Los Ríos

Empresas	Litros cerveza /año	Kg malta/año	Kg bagazo/año
A	204.000	51.000	86.400
B	16.800	4.800	8.132
C	7.680	2.400	4.066
D	14.400	4.800	8.132
Total	242.880	63.000	106.730

Fuente: *Elaboración propia.*

En base a información recopilada se estimó que la producción de cerveza de los 4 productores presentados en la tabla 12, representan el 5% de la producción de la Región. Es decir, la producción de cerveza de la Región de Los Ríos bordea los 50 mil hectolitros, lo que representa una producción de 2 mil toneladas de bagazo al año.

3.2 Potencial teórico de biogás a partir de las biomásas disponibles

3.2.1 Aspectos metodológicos

Este capítulo tiene como objetivo estimar el potencial teórico de biogás, es decir la metanización de toda la materia orgánica disponible según se calculó en el capítulo anterior. Es importante afirmar que pese a que los recursos de biomasa pueden variar bastante a lo largo del país o incluso el mundo, la producción de biogás por tipo de biomasa particular debería ser relativamente constante, dado que la biodigestión es un proceso relativamente invariante si se cumplen condiciones mínimas de funcionamiento. Es por ello que utilizar datos referenciales de otros países de condiciones similares (como países con clima templado lluvioso, como en la Región de los Ríos), constituye una fuente de información relativamente confiable respecto de las producciones potenciales. Desgraciadamente, las tecnologías para pequeños y grandes predios o industrias existentes difieren mucho respecto a costos y a rendimientos, por lo que realizar generalizaciones es riesgoso e impreciso. Por esta razón, se decidió utilizar los factores de conversión estandarizados y más frecuentes en la bibliografía existente, de manera de lograr representatividad de la información.

En la tabla 13 se muestran los factores de conversión de biogás según la fuente de la biomasa, estimados a partir de datos bibliográficos [1]. En el caso de los purines de lechería, el factor de conversión surge además de la experiencia de la empresa Biotecsur en lecherías de las regiones del sur de Chile. En el caso del bagazo de cervecería, el valor fue estimado en base a resultados experimentales de producción de biogás a partir de bagazo cervecero, realizados por el autor en el Instituto de Ingeniería Agraria y Suelos, Universidad Austral de Chile.



El cálculo del potencial de generación de metano a partir del purín de vacuno se realizó para productores con menos de 50 vacas en ordeña, mediante la información proveniente de INDAP

Tabla 13: Factores de conversión de materia orgánica en biogás

Biomasa	Factor conversión Biogás (Lt) / Biomasa (kg o Lt) ¹⁴
Lecherías - purines	25
Quesería-suero	46
Ferías ganaderas-estiércol	40
Cerdos- estiércol	40
Aves-estiércol	70
Bagazo de cervecería	110

Fuente: *Elaboración propia.*

De esta manera, con los factores de conversión y en base a las cantidades de biomasa disponibles abordadas en el capítulo anterior, se calcularon los potenciales regionales de biogás. Además del cálculo de los potenciales regionales totales, se calculó el potencial de generación de biogás de la producción a pequeña escala, esto es, cultivos en agricultura familiar campesina (Agricultura de Subsistencia y Pequeño Agricultor), producción láctea menor (suero), productores de cerdos de menos de 50 cabezas y pequeñas explotaciones de aves y cervecería artesanal.

3.2.2 Potencial teórico de biogás de biomasa residual líquida

3.2.2.1 Purín de vacuno de lechería

El cálculo del potencial de generación de metano a partir del purín de vacuno se realizó para productores con menos de 50 vacas en ordeña mediante la información proveniente del INDAP y para productores con un plantel mayor a 50 vacas en ordeña de acuerdo a la información obtenida por el INE. En la tabla 14 se presenta el total de purines producidos por vacunos en ordeña en la Región de Los Ríos, según los resultados obtenidos en el capítulo 3.1. Sobre la base de esta información se calculó un valor teórico de generación de biogás para cada segmento. En el análisis se consideró que por cada m³ de purín se producen 25 m³ de biogás.

Tabla 14: Potencial valor teórico de generación de biogás a partir de la digestión anaeróbica de purines de vacunos de lechería

Rango	Total purines (m ³ /año)	Biogás (m ³ /año)
0 a 9	3.336	83.408
10 a 24	8.804	220.095
25 a 49	10.503	262.572
50 a 99	26.618	665.441
100 a 299	60.115	1.502.865
300 y más	296.208	7.405.211
TOTAL	405.584	10.139.592

Fuente: *Elaboración propia.*

¹⁴ Kilogramos en caso de residuos sólidos, litros en caso de residuos líquidos.

3.2.2.2 Estiércol de porcino

En la tabla 15 se presenta el potencial teórico de generación de biogás a partir de la digestión anaerobia de estiércol para cada tamaño del productor según cabezas de ganado porcino, el cual fue determinado en este capítulo. Para los cálculos, se consideró una eficiencia de recolección de materia orgánica del 40% y una producción de 40 m³ por cada m³ de estiércol.

Tabla 15: Producción de biogás porcino

Rango	Total estiércol líquido (m ³ /animal/año)	Biogás (m ³ /año)
Menos de 50 cabezas	13.983	559.308
Más de 50 y menos de 500	698	27.927
Más de 500	307	12.264
Total		599.499

Fuente: *Elaboración propia.*

3.2.2.3 Ferias ganaderas

Para el caso de ferias ganaderas se consideró una producción de 40 m³ de biogás por cada m³ de purín estiércol. Por lo tanto, la producción potencial de biogás al año para Tatterssall y FEGOSA es de 5.012.331 m³ y 2.380.917 m³, respectivamente.

3.2.2.4 Residuos de la industria quesera

Considerando un promedio entre el valor superior e inferior del rango expuesto en el anexo 7.6 y un rendimiento de biogás de 875 (m³/Ton MOS), se calculó la cantidad de biogás para la industria láctea mayor y menor. Para la industria láctea mayor también se calculó a nivel de planta, obteniéndose los siguientes resultados:

Tabla 16: Producción estimada de biogás para las industrias lácteas de la Región de Los Ríos

INDUSTRIA	Materia orgánica (Ton MS)	Biogás (m ³ /año)
Láctea Menor	689	602.989
Láctea Mayor	23.551	20.607.069
Total región	24.240	21.210.058

Fuente: *Elaboración propia.*

3.2.2.5 Mataderos

Para el cálculo de potencial de producción de biogás de FRIVAL, las grasas fueron separadas de los RILEs según lo señalado en la Declaración de Impacto Ambiental (SEIA, 2005). Por lo tanto, para el cálculo total de biogás se analizó por una parte, el potencial de las grasas y por otra el potencial del resto del RIL, utilizando en ambos casos, factores de conversión específicos para las grasas y para el RIL.





Cabe destacar que tal como se aprecia en la tabla 34 del anexo 7.3.1, los valores de sólidos suspendidos sumados a los de aceites y grasas son significativamente inferiores a los de la DBO5 (que es una variable indicadora de la cantidad de materia orgánica disponible para los microorganismos). Sin embargo, no se encontraron indicadores adecuados para transformar esta última variable en biogás, por lo tanto, se utilizaron los sólidos suspendidos y las grasas para esto, de modo que es posible una subestimación del potencial para esta industria [27]. Los resultados se muestran en la tabla 17:

Tabla 17: Potencial de biogás Planta FRIVAL

Parámetro	Biogás (m ³ /año)
Sólidos suspendidos	174.331
Aceites y grasas	87.329
TOTAL	261.660

Fuente: *Elaboración propia.*

Para estimar los residuos generados en la planta FRIGOBAL se consideró el volumen de RILEs generados, según lo señalado por la Superintendencia de Servicios Sanitarios, información que entregó a este organismo la planta de tratamiento de aguas residuales de la empresa Essal para el año 2011, en la comuna de La Unión [27]. De acuerdo a estos datos, se estimó el potencial de producción de biogás del frigorífico. En la tabla 18 se señala el potencial de producción de biogás para ambas empresas

Tabla 18: Potencial regional de generación de biogás en la industria de matadero

Planta	Biogás (m ³ /año)
FRIVAL	261.660
FRIGOBAL	13.269
Total	274.929

Fuente: *Elaboración propia.*

3.2.3 Potencial teórico de biogás de biomasa residual sólida

3.2.3.1 Estiércol avícola

De acuerdo al total de biomasa residual determinada, se calculó el potencial teórico de biogás generado a partir del estiércol de la crianza y engorde de aves para pequeñas y medianas explotaciones en la Región de Los Ríos. En la tabla 19 se presenta el potencial teórico de biogás generado a partir del estiércol de la crianza y engorde de aves para pequeñas y medianas explotaciones de la región.

Para los cálculos se estimó una eficiencia de recolección de biomasa de un 40% y una producción de 70 m³ de biogás por cada m³ de estiércol.

Tabla 19: Potencial teórico de biogás generado a partir del estiércol de aves

Rango	Estiércol (m ³ /año)	Biogás (m ³ /año)
Pequeñas explotaciones	4.928	344.925
Medianas explotaciones	1.734	121.363
TOTAL	6.662	466.288

Fuente: *Elaboración propia.*

3.2.3.2 Residuos de la industria cervecera

En la tabla 20 se muestra el potencial teórico regional de generación de biogás a partir de los desechos sólidos de la industria de la cerveza. Para el cálculo se consideró que por cada kilo de bagazo se producen 110 lt. de biogás, y se asume que 4 cervecerías entrevistadas constituyen el 5% del mercado cervecero regional y un 20% de la cerveza artesanal¹⁵. En cualquier caso, el cálculo de biogás entregado corresponde al potencial total teórico regional. Dado que en el caso de cervecerías grandes comúnmente utilizan el bagazo como subproducto para la alimentación animal, el potencial práctico estaría sobre estimado.

Tabla 20: Potencial de generación de biogás a partir de los desechos sólidos de la industria de la cerveza

Empresas	Bagazo kg/año	Biogás (m ³ /año)
A	86.400	9.504
B	8.132	894
C	4.066	447
D	8.132	894

Fuente: *Elaboración propia.*

Para el cálculo del potencial total máximo se consideró el consumo promedio nacional por persona (36lts./persona/año) aplicado a la población de la Región de Los Ríos (404.400 habitantes). En el caso de la producción de pequeña escala, se consideró una producción total de 1,2 millones de litros anuales de cerveza artesanal.

3.3 Estimación de la generación de energía a partir de biogás obtenido desde las distintas biomásas disponibles

3.3.1 Aspectos metodológicos

El presente capítulo pretende entregar cifras referenciales respecto a la cantidad de bioenergía disponible a partir de la generación con biogás. Para ello, se consideraron los usos de biogás para producción de energía térmica (calor) y eléctrica. Al respecto, se presentaron los valores de contenido calórico total y su equivalente en metros cúbicos de leña y kilos de gas licuado, de manera de ponderar el valor de sustitución entre esos combustibles.

¹⁵ Incluida Cervecería Kunstmann.





Para la cuantificación del calor utilizable (energía térmica), se entrega el contenido calórico total, equivalente a una eficiencia del 100%. En el caso de usar calderas de alta eficiencia (sobre 90%) los valores de energía térmica real se aproximan bastante a este valor. No obstante, para otros sistemas, teniendo la eficiencia de la tecnología a emplear se obtiene directamente el potencial térmico real.

La generación de energía eléctrica se calcula con el potencial máximo teórico para toda la región, pues la cogeneración con biogás sólo es económicamente viable a mayor escala, lo que dejaría fuera a la pequeña agricultura en términos individuales pero no en términos colectivos (proyectos asociativos). Para el caso de la electricidad, sólo se evalúa la utilización de sistemas de cogeneración con motores de explosión a gas, por ser estos sistemas de comparativo bajo costo y alta eficiencia en relación a otras alternativas tecnológicas (eficiencia energética de 85% calor + electricidad).

Se presenta además los equivalentes en m^3 de leña y kg de gas licuado, como referencia a las dimensiones implicadas en fuentes alternativas comunes en la región. Se utiliza leña por que es la opción térmica más barata en la región, y gas licuado por ser el segundo sustituto más accesible técnica y económicamente, presentando similitudes con el biogás.

Para el caso del potencial de pequeña escala, sólo se evalúa el potencial térmico, dado que los costos y eficiencias de escala de los sistemas de cogeneración sólo pueden lograrse desde una cantidad mínima de biomasa disponible que, habitualmente, solo es gestionada por productores de tamaño medio o grande.

Se incluye un análisis de autosuficiencia de biogás para la cocina de una familia rural campesina promedio. Respecto a la estimación de autoabastecimiento, como supuesto se asume que éstas usan hoy cocina a leña, tienen suficiente biomasa residual disponible para el funcionamiento de un biodigestor domiciliario y en caso de que faltase, se calcula el requerimiento de biomasa con recursos agrícolas al alcance, como pequeñas superficies de forraje o cultivos.

3.3.2 Potencial regional total

Como resultado de los cálculos de producción de biogás a partir de distintas biomásas se obtiene un potencial de generación regional anual de 40,3 millones de m^3 . En la figura 30 se observan las contribuciones de cada tipo de biomasa al total regional. En la tabla 21 se entregan los detalles de energía involucrada.

POTENCIAL REGIONAL DE BIOGÁS

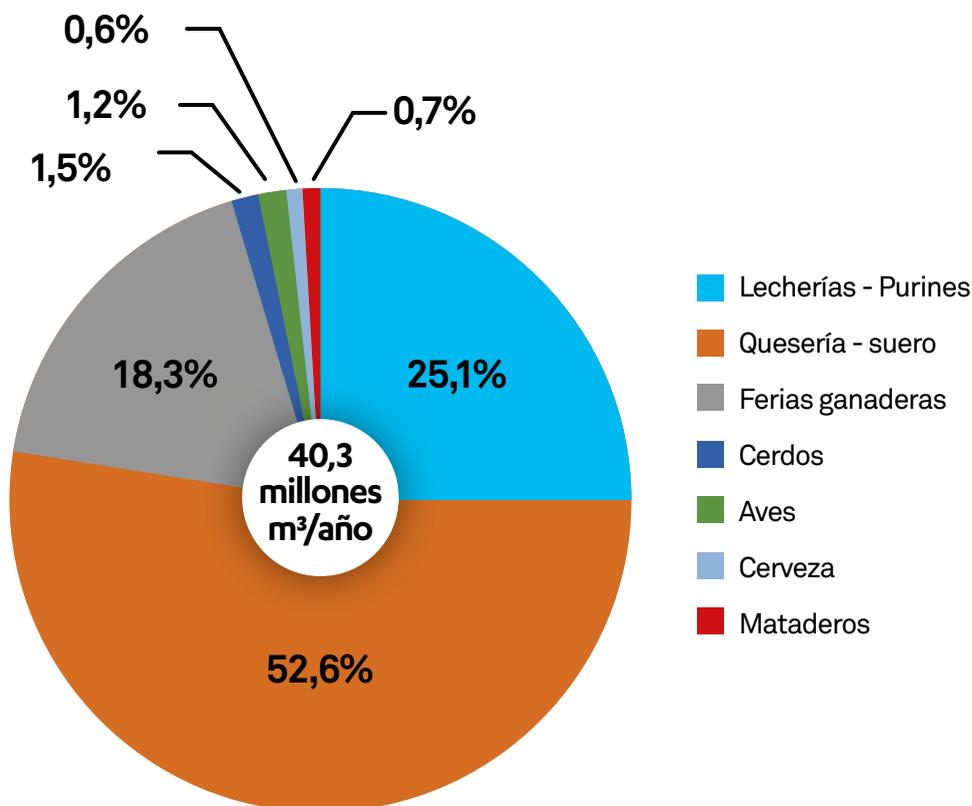


Figura 30: Composición del potencial de biogás regional por tipo de biomasa.

Como se mencionó previamente, para el cálculo del total de energía generada a partir del biogás potencial en la región, se consideró un solo uso a la vez, es decir, 100% del biogás regional utilizado para calor o para cogeneración. Por ello, las cifras presentadas son sólo referenciales al potencial teórico máximo. En base a los potenciales regionales de producción de biogás obtenidos, se calcularon los valores máximos posibles de producir en generación térmica total (combustión directa) y de generación térmica + eléctrica a través de sistemas de cogeneración, ambas tecnologías existentes en el mercado.

En relación al potencial térmico, se consideró combustión directa, para efectos de sustitución con leña, utilizándose una eficiencia térmica de 60%, equivalente a la eficiencia que presentan las estufas de doble combustión. Asimismo, se consideró un contenido calórico de 5 GJ/m³ de leña (con 20% humedad, valor promedio de distintas especies nativas más usadas) [25]. Con ello, se utilizó un valor de 0,0072 m³ de leña/m³ de biogás. En el caso de gas licuado, se utilizó un valor equivalente a 13,4 Kwh/kg, lo que da una tasa de recambio de 2,44 m³ de biogás / kg gas licuado.

El potencial calórico a partir de biogás en la Región, equivaldría energéticamente al 6% de la leña consumida

En relación a los sistemas de cogeneración, estos generalmente consisten en motores de combustión interna cuya potencia activa generadores eléctricos, al tiempo que generan agua caliente a partir de su refrigeración, la cual se utiliza para alimentar redes de agua caliente a edificios o grupos de viviendas, conocidas como redes distritales. Los valores de cogeneración asumen una eficiencia de transformación a calor y electricidad de 2,4 y 2,0 KW/m³ de biogás respectivamente. En la tabla 21 se presenta la capacidad de cogeneración térmica y eléctrica para cada biomasa analizada en este estudio.

Tabla 21: Potencial regional: biogás total y máximo teórico de generación de energía eléctrica y térmica

Total regional	Biogás (m ³ /año)	Contenido calórico total (Kwh) ¹⁶	Equivalente Leña (m ³)	Equivalente gas licuado (Kg)	Cogen. térmica (Kwh)	Cogen. eléctrica (Kwh)	Potencia eléctrica (Kw)
Lecherías - purines	10.139.592	60.837.550	26.282	4.545.204	24.335.020	20.279.183	2.315
Quesería-suero	21.210.058	127.260.349	54.976	9.507.684	50.904.140	42.420.116	4.842
Ferías ganaderas	7.393.249	44.359.492	19.163	3.314.120	17.743.797	14.786.497	1.688
Cerdos	599.499	3.596.996	1.554	268.733	1.438.798	1.198.999	137
Aves	466.288	2.797.725	1.209	209.019	1.119.090	932.575	106
Cerveza	234.805	1.408.828	609	105.254	563.531	469.609	54
Mataderos	274.929	1.649.574	713	123.240	659.830	549.858	63
Total	40.318.419	241.910.515	104.505	18.073.255	96.764.206	80.636.838	9.205

Fuente: *Elaboración propia.*

En la Región de Los Ríos, al año 2010 el consumo de productos derivados de la madera para energía (principalmente leña), fue de 1.790.571 m³ estéreos, de los cuales el 84% es residual (rural 35% y urbano 49%), comercial, institucional 12%, e industrial 4% (INFOR, 2012). De esta manera, el potencial calórico a partir de biogás en la Región, equivaldría energéticamente al 6% de la leña consumida.

3.3.3 Potencial regional de pequeña escala

Se presenta el potencial de producción de energía térmica de pequeña escala a partir de biogás y su equivalencia respecto a otros combustibles alternativamente utilizados a escala equivalente a agricultura familiar campesina (AFC). Para el cálculo se utilizaron los valores de transformación correspondientes a los estratos de pequeña escala de producción presentados en este capítulo. Específicamente para cada tipo de biomasa se incluyó:

- **Lecherías:** agricultura de subsistencia y pequeños agricultores
- **Quesería:** láctea menor
- **Estiércol de cerdos:** explotaciones menores de 50 cabezas
- **Estiércol aves:** pequeñas explotaciones
- **Industria cervecera:** cervezas artesanales

¹⁶ Corresponde al contenido calórico o energía total. Este valor corresponde a su vez al total de energía térmica teórica. Utilizando la eficiencia de combustión de una tecnología a emplear determinada se obtendrá directamente el potencial térmico total. En el caso de calderas de alta eficiencia la eficiencia puede sobrepasar el 90%.

Para la referencia a combustibles alternativos se utilizó el equivalente a 0,0123 m³ de leña/m³ de biogás, dada las eficiencias equivalentes al uso de cocinas a leña tradicionales¹⁷, con un 35% de eficiencia de combustión¹⁸. Para el caso del gas licuado, se utilizó el mismo valor utilizado para toda la región. A continuación en la tabla 22 se presentan los resultados obtenidos en este estudio referente a la capacidad de generación de energía del segmento definido como pequeña escala.

Tabla 22: Potencial regional: biogás de pequeña escala y valores de sustitución de otros combustibles utilizados

Sector	Biogás (m ³ /año)	Calórico total (Kwh)	Equivalente Leña (m ³)	Equivalente gas licuado (Kg)
Lecherías - purines	566.075	3.396.450	6.987	253.751
Quesería - suero	602.989	3.617.933	7.443	270.298
Cerdos	559.308	3.355.851	6.903	250.717
Aves	344.925	2.069.550	4.257	154.617
Cerveza	58.701	352.207	725	26.314
Total	2.131.999	12.791.992	26.315	955.696

Fuente: *Elaboración propia.*

3.3.4 Estimación de autoabastecimiento de biogás para cocina de una familia rural promedio

El concepto de reemplazo de cocina a leña tradicional por cocina con quemadores a biogás podría ser una interesante alternativa tecnológica para familias rurales, especialmente en zonas aisladas o lejanas a centros poblados. Entre las ventajas que este concepto presenta pueden mencionarse:

- **Aprovechamiento de fuentes de biogás disponibles en los predios.** Como se ha explicado anteriormente, en el ambiente rural existe biomasa disponible de diversa índole, la que puede ser aprovechada para la producción de biogás.
- **Permite tratamiento de residuos.** Los residuos orgánicos sólidos o líquidos sin descomponer pueden ser fuente de vectores, malos olores y patógenos. En cualquier caso, su disposición en el suelo o cuerpos de agua debe realizarse posterior a un tratamiento. De esta manera, la biodigestión puede considerarse un tratamiento parcial o en algunos casos total de los residuos para su aplicación o descarte.
- **Independencia/autonomía energética.** Por lo anterior, los usuarios no dependen de las condiciones externas (disponibilidad y precios en la región, país o internacionalmente), brindando la posibilidad de lograr una autosuficiencia de combustible a nivel doméstico.
- **Comodidad de operación de cocina.** La operación de una cocina a gas no requiere los tiempos de encendido y calentamiento que requiere una cocina a leña (lo más usado ruralmente), y permite dosificar el uso de combustible de acuerdo a la

El concepto de reemplazo de cocina a leña tradicional por cocina con quemadores a biogás podría ser una interesante alternativa tecnológica para familias rurales

¹⁷ Al respecto, ver siguiente subcapítulo, relativo a autosuficiencia energética para cocina de familia rural promedio.

¹⁸ En el caso el período estival en el que no se requiere calefacción y donde todo el calor residual se pierde, la eficiencia de una cocina a leña tradicional es mucho menor, llegando a valores de transformación de 0,03350 m³ de leña/m³ de biogás, como se analiza en el siguiente subcapítulo.



necesidades precisas, minuto a minuto. Lo anterior simplifica la operación de la cocina y eleva considerablemente la eficiencia de uso.

- **Mayor eficiencia energética y de recursos.** El sustituir una cocina a leña por una cocina a biogás más una estufa a leña de doble cámara (combustión lenta) tiene importantes sinergias. Dado que la eficiencia de una cocina a leña es de alrededor de un 35%, mientras que la estufa de doble cámara es de aprox. 60%, la eficiencia para calefacción del sistema puede casi duplicarse. Incluso ésta puede aumentarse aún más si el agua caliente se obtiene a partir de un serpentín instalado en la estufa de doble cámara en lugar de la cocina a leña. Si a eso se le suma la mayor eficiencia para cocinar de una cocina a biogás respecto a la cocina a leña [25], y todo el calor que no se usa antes y después de cocinar con cocina a leña, el efecto de aumento en la eficiencia puede ser mucho mayor.
- **Importante reducción de presión sobre bosques/deforestación.** Este punto es especialmente relevante. Dado que la eficiencia calórica del sistema puede duplicarse, como se planteó en el punto anterior, la demanda por leña puede reducirse a la mitad. Ello implica una importante contribución a la disminución de la deforestación por consumo local de leña.

Entre las desventajas de este tipo de sistemas, puede mencionarse:

- **Incertidumbre de aceptación de la tecnología.** Ante todo resulta vital conocer como ésta tecnología se adapta al modo de vida, costumbres y conocimientos de las familias rurales, de manera de saber si será considerada una alternativa atractiva o no por éstas. Al respecto el proyecto liderado por la Gobernación de Valdivia¹⁹ será clave para esclarecer esta incógnita.
- **Mayor complejidad de operación.** Naturalmente por tratarse de un sistema adicional a lo existente hoy en día, su operación implica nuevas actividades tales como recolección de materia orgánica y mantención básica del equipo. Asimismo, la operación del biodigestor requiere cierto nivel de capacitación. Lo anterior no debiese implicar demasiado tiempo ni alta complejidad.
- **Mayor costo de inversión.** Los biodigestores no son sistemas de bajo costo de inversión, por lo que en una primera etapa los costos del hogar se elevan en forma significativa, lo que puede limitar a muchas familias respecto a su implementación y uso.
- **Huella de carbono.** Paradójicamente, si bien un biodigestor que funciona correctamente permite reducir importantemente la huella de carbono de un hogar, de no operarse correctamente o presentar fugas de gas (dado por ejemplo por malas terminaciones) puede implicar aumentar significativamente la huella de carbono de un hogar, dado que el poder de efecto invernadero del metano contenido en el biogás es 25 veces mayor que el del dióxido de carbono (CO₂) que se emitiría por simple combustión.

¹⁹ Estudio "Autoabastecimiento hídrico y energético a partir de la cosecha de aguas lluvias y la producción de biogás a través del tratamiento de residuos orgánicos que se llevó a cabo en el área rural de las comunas de Mariquina (sector costero), Máfil y Los Lagos (sector cordillerano) de la provincia de Valdivia".

A continuación se presenta la tabla 23 con información referencial respecto del biogás necesario para el abastecimiento de una familia promedio de 4 personas, y su equivalencia de ahorro respecto de otros combustibles.

Tabla 23: Ejemplo de autosuficiencia térmica familiar a través de la incorporación de un biodigestor domiciliario

N° personas /familia	4
Demanda biogás cocina	
Consumo quemador (m ³ /hr)	0,3
Horas de uso quemador/día ²⁰	2,2
Eficiencia calórica quemador biogás	95%
Eficiencia de transmisión de calor quemador biogás	40%
Total biogás/familia (m³/año)	241
Sustitución de gas licuado por biogás	
Eficiencia calórica quemador gas	95%
Eficiencia de transmisión de calor quemador gas	40%
Equivalencia kg gas licuado/m ³ biogás	0,43
Equivalente gas licuado (kg/año)	104
Equivalente \$/año (kg gas licuado=\$1.100)	113.946
Sustitución de leña para cocinar por biogás	
Calor de leña (GJ/m ³) ²¹	5
Eficiencia calórica estufa a leña	35%
Eficiencia de transmisión de calor estufa a leña	20%
Eficiencia de uso estufa a leña ²²	70%
Equivalente leña (m ³ /año)	8,1
Oferta biogás	
Residuos Familia	
Basura orgánica/persona/día (kg)	0,5
Biogás de basura orgánica/persona/día (m ³)	0,075
Kg de residuos humanos sólidos/persona/día	0,3
Biogás de residuos humanos/persona/día (m ³)	0,028
Total biogás residuos (m³/familia/año)	150
Biomasa fresca	
Pasto (ensilaje)	
Biomasa empastada promedio (ton MS/ha/año)	7
Biomasa fresca (30% MS) (kg/m ²)	2,3
Biogás/kg biomasa fresca (m ³)	0,18

Fuente: *Elaboración propia.*

²⁰ No incluye agua caliente baños/duchas (que pueden obtenerse de estufa a leña con serpentín)

²¹ Leña con 20% humedad, valor promedio de distintas especies usadas en la región (AIFBN, 2008).

²² Corresponde al tiempo útil cocinando. Promedio invierno (90%) – verano (50%). Invierno es mayor pues el calor residual se utiliza en calefaccionar el hogar.

Trigo (ensilaje)

Biomasa promedio (ton MS/ha) (aprox. 45 qqm.)	10,4
Biomasa fresca (35% MS) (kg/m ²)	3,0
Biogás/kg biomasa fresca (m ³)	0,22

M² de cultivos para autoabastecimiento gas cocina

	Biomasa a usar	
	Pasto	Trigo (silo)
Sin residuos domiciliarios	574	370
Con residuos domiciliarios	216	139

Fuente: *Elaboración propia.*

De la tabla anterior puede concluirse que para autoabastecer de gas la cocina de una familia promedio se requieren sólo 574 m² de producción de pasto (en verde) en caso de no agregar los residuos orgánicos de la casa. En el otro extremo, para lo mismo con recolección de residuos orgánicos (domésticos o agrícolas) se requieren sólo 139 m² de trigo (en estado para ensilaje, es decir, en verde previo a madurez) o menos superficie si se tratase de maíz por ser este más productivo. Al contar con una cocina a biogás no se requeriría cocinar en cocina a leña tradicional. Con ello es posible sustituir la cocina a leña tradicional por una estufa de doble cámara (combustión lenta) para la calefacción. La eficiencia térmica de una cocina a leña tradicional es de aprox. 35% y la estufa de doble cámara 60% [25]. Si se considera que se ahorra la leña para cocinar y casi se dobla la eficiencia de combustión para la calefacción, con ello puede lograrse bajar a menos de la mitad la necesidad familiar de leña anual. Para concretarse lo anterior, es necesario desarrollar investigación respecto a la aplicabilidad de este concepto en el mundo rural, considerando barreras técnicas y culturales y evaluando los eventuales impactos que pudiesen generarse.







4

EVALUACIÓN ECONÓMICA Y SOCIAL DE SISTEMAS PREDIALES DE BIODIGESTIÓN

Francisco Cerda

Por la naturaleza de un proyecto de biogás, es conveniente realizar un estudio de los beneficios y costos asociados a su implementación, y por tratarse de iniciativas que pueden ser financiadas por empresas, inversionistas o por instituciones del Estado, resulta importante evaluarlas privada y socialmente.

4.1 Aspectos metodológicos

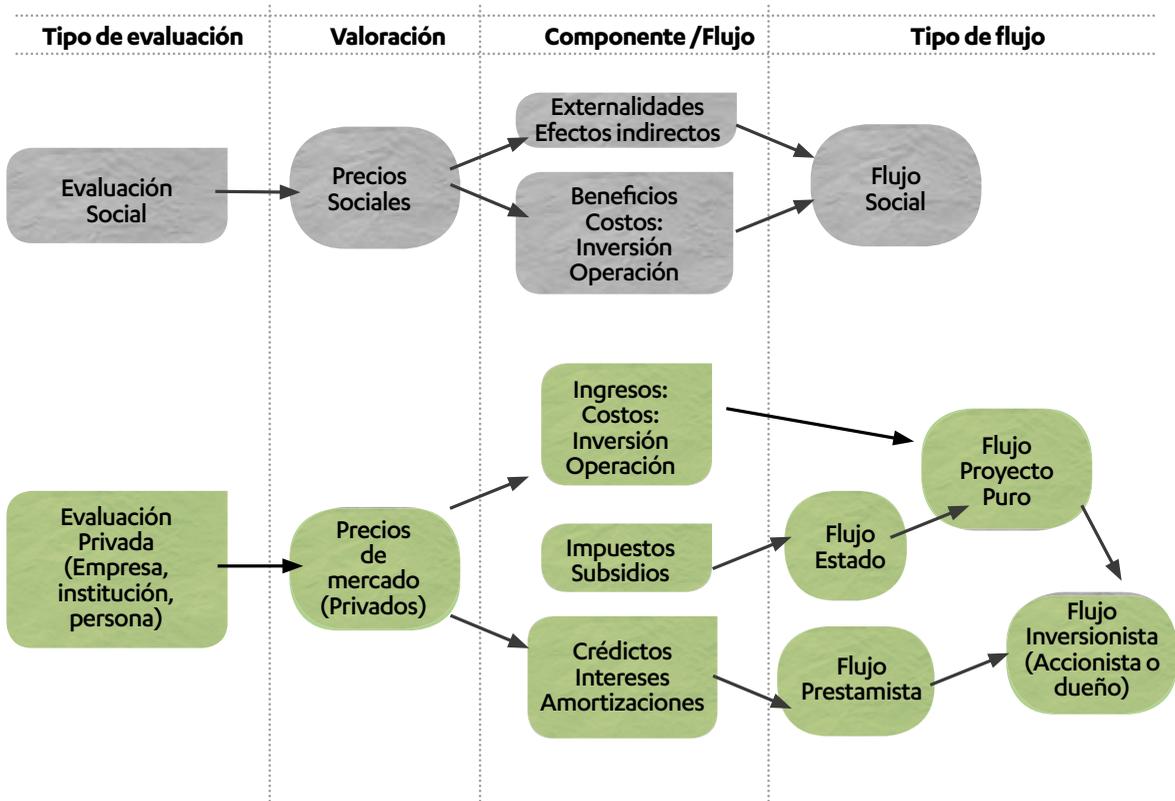
En este caso, la evaluación económica se realiza mediante flujos proyectados, efectuándose una estimación de los ingresos y costos de producción. Los ingresos de los SPB, se estiman sobre la base de la generación de energía proyectada en el horizonte de evaluación, mientras que dentro de los costos involucrados se considera la inversión inicial, y los costos asociados a la mantención y producción del SPB.

De los proyectos de producción de biogás en base a residuos orgánicos, es posible que exista un amplio rango viable de costos, existiendo también la alternativa de desarrollar economías de escala, en particular si la intención es la generación de electricidad a mediana y gran escala, cosa que no es posible realizar en proyectos pequeños, lo que puede presentar mayor dificultad para rentabilizarlos.

La construcción de la evaluación privada de los SPB se abordará en base a la formulación de un flujo considerando ingresos y costos calculados de acuerdo a precios de mercado. La evaluación social, que no se abordará en éste estudio, considera el desarrollo de un flujo social, que incorpora al análisis algunas externalidades, beneficios y costos de la situación sin proyecto y con proyecto, en base a precios sociales (Cepal, Ministerio del Desarrollo Social). En el siguiente diagrama se muestra la estructura utilizada para el análisis económico de los SPB.



Figura 31: Esquema general de evaluación social y privada de un Sistema Predial de Biodigestión (SPB)



Fuente: *Elaboración propia.*



Tipos de beneficios:

Los beneficios de un SPB son de diversa índole, existiendo tanto económicos como también sociales. La generación de biogás permite usarlo de forma directa como elemento combustible utilizable en generación de calor e incluso en proyectos de mayor envergadura para generación de energía eléctrica, con el consiguiente ahorro al minimizar o dejar de utilizar la fuente energética convencional e incluso constituir una fuente de ingreso en sí misma para proyectos de gran envergadura cuya finalidad es la producción de electricidad. En términos generales, los beneficios de un SPB se resumen en:

- Ingresos monetarios
- Ahorro de costos (liberación de recursos)
- Aumento de disponibilidad de energía
- Otros:
 - Revalorización de bienes.
 - Reducción de riesgos.
 - Mejoramiento de la productividad.
 - Impacto ambiental positivo.
 - Mejoramiento de imagen.
 - Entre otras externalidades positivas atribuibles a cada proyecto en particular.

Para efectos de este estudio se ejemplificará una evaluación privada para un SPB instalado en una lechería convencional, que cuenta con una capacidad diaria de 70 vacas en ordeña. Se elabora además un flujo independiente para los diferentes tipos de fuentes energéticas que tenga el productor antes de la instalación del SPB, es decir un flujo para leña, gas licuado y energía eléctrica. Además en este capítulo se abordan de manera descriptiva las externalidades positivas que pueden ser consideradas al momento de realizar la evaluación social de un proyecto de instalación de SPB.

4.2 Valorización de productos asociados a Sistemas Prediales de Biodigestión (SPB)

El biogás puede destinarse a producción de energía eléctrica y térmica, beneficios que son usados para la sustitución de otros combustibles. En todos los casos la demanda puede estar asociada a consumos propios del productor de biogás o bien de terceros.

4.2.1 Ingresos en sustitución de energías (ahorro)

En un proyecto de biogás es necesario valorizar la energía que se produce, la cual es utilizada en la sustitución de otros combustibles.

Si la producción de energía se destina al autoconsumo, como es el caso de productores pequeños y medianos, los ingresos corresponderán a ahorros asociados a los menores retiros de energía que se realicen del sistema eléctrico, a la sustitución total o parcial del uso de leña o de gas licuado, según sea el caso.

En un proyecto de biogás es necesario valorizar la energía que se produce, la cual es utilizada en la sustitución de otros combustibles



En este caso se contempla que la energía generada será principalmente del tipo térmica, utilizada para la sustitución del gas licuado (GLP), leña y/o electricidad. La utilización de esta energía proveniente del biogás constituye un ahorro para el proceso de lavado e higiene de implementos de las lecherías, entre otros usos comunes.

Estudio de caso:

Para una lechería de 70 vacas promedio en ordeña diaria, se consideran los siguientes datos:

- Se debe calentar aproximadamente 400 litros de agua al día a 80°C
- Un SPB para esta capacidad (70 vacas) genera aproximadamente 5,9 m³ de biogás por día, o su equivalente a 3 kilos de GLP diarios
- 1 m³ de biogás equivale a 5.600 kcal
- 1 kg GLP equivale a 12.000 kcal
- 1 kg leña equivale a 3.500 kcal

De lo antes mencionado se desprende que para realizar esta tarea en el caso de utilizar leña, anualmente se requieren 28 metros cúbicos²³. La relación entre el consumo real de leña y el contenido energético (kcal/kg leña) no es directa, ya que mucha energía se pierde en el proceso del encendido del fuego, y la eficiencia termodinámica dada por las características propias de cada caldera nunca es 100%. En promedio 1m³ de leña pesa 600 kg aproximadamente, por lo que una lechería consumiría anualmente alrededor de 16.800 kg de leña, o 46 kg diarios.

Además, aun cuando la gran mayoría de los agricultores poseen bosques propios, 1m³ de leña cuesta en el mercado en promedio (puesta en predio productor) aproximadamente \$15.000 (Diciembre 2015 - Febrero 2016). Se toma como referencia éste dato para el caso de éste estudio, ya que una externalidad positiva asociada a la implementación de un SPB es también disminuir la deforestación, por lo cual el valor real de un metro cúbico de leña es superior que su precio de mercado.

En promedio, el gasto anual en energía para este tipo de productor lechero, en caso de adquirir los combustibles en forma externa, sería de:

- \$15.000 (metro leña) x 28 mts al año = \$420.000 anual, usando leña
- \$950 (\$/kg GLP) x 1.041 kg de GLP al año = \$988.950 anual, usando GLP
- \$100 (\$/Kwh) x 11.035 Kwh = \$ 1.103.488 anual, usando electricidad

En la siguiente tabla se presenta el detalle de la producción de biogás y sus costos alternativos, para los diferentes tramos de vacas en ordeña analizados en el estudio. Para efectos de la comparación entre combustibles, se asume que la proporción de uso se mantiene constante independiente del tamaño del plantel²⁴.

²³ Ricardo Hagedorn, Paillaco; comunicación personal.

²⁴ Es de esperar que la relación de uso de combustibles no sea proporcional al tamaño, sino que al aumentar el tamaño, se tienda a disminuir el consumo de leña y a aumentar el consumo de energía eléctrica.

Tabla 24: Costo energético sin proyecto y beneficios de producción energética

Tramos N° Vacas	Producción Biogás m³ Anual	Producción Kilos de GLP anual con SPB	Consumo kg anual de GLP sin proyecto	Precio Kilo GLP	Costo GLP Anual Sin Proyecto	Consumo Metros de Leña sin proyecto
1 a 10	402	201	186	950	\$176.598,21	5
11 a 25	803	402	372	950	\$353.196,43	10
26 a 50	1.606	803	744	950	\$706.392,86	20
70	2.248	1.124	1.041	950	\$988.950,00	28
51 a 100	3.212	1.606	1.487	950	\$1.412.785,71	40
100 a 300	9.636	4.818	4.461	950	\$4.238.357,14	120

Fuente: *Elaboración propia.*

En la cuarta columna de la tabla, se muestra la determinación de la cantidad de GLP que se ocupa en el proceso de ordeña en la situación sin proyecto. En la tercera columna se presenta el equivalente a kilos de GLP que genera el proyecto (1m³ de biogás equivale a 0,50 kg GLP), siendo la diferencia entre ambos indicadores la que constituye el excedente generado en cada tramo analizado.

Estas cifras corresponden a estudios y mediciones hechas en SPB ya en funcionamiento en la Región de los Lagos y por encontrarse en condiciones similares a la Región de Los Ríos, se acercan con un buen nivel de confianza a parámetros reales para el caso de proyectos en concreto.

4.2.2 Excedentes energéticos

Para una lechería de 70 vacas, un SPB produce aproximadamente 2.248 m³ de biogás, que equivalen a 1.124 kg de GLP anuales, por su parte el consumo de la lechería asciende a los 1.041 kg de GLP anual, generándose un diferencial de 83 kg de GLP, excedente que puede ser valorizado en \$79.040 por año.

La posibilidad de existencia y la cantidad de excedentes que genere un SPB va a depender principalmente del tipo de purín, directamente relacionado con la alimentación del ganado y del desarrollo de nuevas tecnologías que mejoren la eficiencia energética. Para el caso de los productores lecheros que utilicen solo energía eléctrica en su sistema productivo, el SPB reemplazará el consumo de energía que se requiere para el calentamiento de agua. En este caso en particular, un SPB no reemplaza en su totalidad el consumo eléctrico, esto quiere decir que un SPB rebaja el gasto y no lo elimina totalmente. El biogás excedente, se puede asumir de igual forma como un ahorro puesto que se almacena en el gasómetro y se utilizará en algún momento, sea por contingencia (ocurra algún problema que haga que el SPB deje de producir biogás unos días) o por su uso directo al incorporar otro artefacto.

4.2.3 Costos asociados al proyecto

Los costos asociados a un SPB son básicamente de dos tipos, inversión inicial y mantenimiento, dependiendo del tamaño del SPB, los requerimientos de equipos,

La cantidad de excedentes que genere un SPB va a depender principalmente del tipo de purín

Precio m ³ de leña	Costo Leña Anual Sin Proyecto	Consumo Kw anual sin proyecto	Precio Kw	Costo anual Killowatts sin proyecto	Producción Kilowatts con SPB	Excedentes Energéticos Anual (GLP)
\$15.000	\$75.000	1.971	\$100	\$197.051	612,7	14.114
\$15.000	\$150.000	3.941	\$100	\$394.103	1.225,4	28.229
\$15.000	\$300.000	7.882	\$100	\$788.206	2.450,7	56.457
\$15.000	\$420.000	11.035	\$100	\$1.103.488	3.431,0	79.040
\$15.000	\$600.000	15.764	\$100	\$1.576.412	4.901,4	112.914
\$15.000	\$1.800.000	47.292	\$100	\$4.729.236	14.704,3	338.743



materiales y maquinarias serán proporcionales. La construcción puede ser realizada localmente, por lo tanto la mano de obra no es en su totalidad de tipo calificada.

4.2.4 Inversión

Consiste en todos los costos de diagnóstico, diseño, ingeniería, fabricación e instalación de los SPB y su puesta en marcha.

Los costos de inversión inicial incluyen diversos ítems como los materiales utilizados para la fabricación completa del SPB, desde el proceso de movimiento de tierra con maquinaria pesada, la instalación de la membrana impermeable, el diseño e ingeniería calculista, instalación de tuberías, compra e instalación de equipos (motores y/o generadores, calderas, etc.) y la mano de obra necesaria para el proceso. Los costos para cada tramo de número de vacas en ordeña en estudio, serán presentados en la tabla 25.

Para simplificar el análisis, se utilizó sólo un biodigestor de estructura flexible, pues es la tecnología que mejor se encuadra en este rango de tamaños, no obstante es esperable que a medida que varíe el número de vacas pueda aumentarse también el grado de tecnificación, lo que implicaría variaciones no proporcionales en los costos.

Tabla 25: Costos de inversión privada

Tramos N° Vacas	Inversión Inicial
1 a 10	2.500.000
11 a 25	6.500.000
26 a 50	12.300.000
51 a 100	15.000.000
101 a 300	60.000.000

Fuente: *Elaboración propia.*

Para el caso de la lechería de 70 vacas, la inversión inicial privada bruta (i.v.a incluido) es de \$15.000.000. Por su parte si se desglosa éste ítem, del total de la inversión inicial del SPB, el costo neto de los materiales es de aproximadamente un 80% (\$10.084.034) y lo restante corresponde a mano de obra. A modo de simplificar el análisis se usaron cifras estimadas.

Visto de otro modo:

\$15.000.000 de inversión inicial privada bruta i.v.a. incluido.
 $(15.000.000 \times 0,8)/1,19 = \$10.084.034$, Inversión neta en materiales.
 $(15.000.000 \times 0,2) = \$3.000.000$, Costo en mano de obra.
 $15.000.000 - \$3.000.000 = \$12.000.000$, Costo bruto en materiales.

4.2.5 Costos de operación y mantención

Se refieren a los costos de funcionamiento a lo largo de la vida útil del SPB y corresponden al valor de las acciones de revisión diaria por parte del personal a cargo, los costos asociados a la reparación de instalaciones, repintado, anticorrosivos, reparaciones de membranas, anclajes, pernos y/o cualquier artefacto físico que sea parte del SPB.

Tabla 26: Costos de mantención privada

Tramos N° Vacas	Costo Mantención Anual (\$)
1 a 10	50.000
11 a 25	80.000
26 a 50	150.000
51 a 100	200.000
101 a 300	1.000.000

Fuente: *Elaboración propia.*

La mantención de este tipo de SPB requiere en promedio, 15 minutos diarios de dedicación por parte del operario, lo que respecta al personal que mantiene la sala de ordeña y la limpieza de los patios no se considera, pues esta labor se debe realizar con o sin SPB. El operario debe realizar una inspección visual cada día de la instalación para prevenir que se atasque alguna tubería de entrada o salida, que no existan fugas de biogás o de biol. Una labor demandante de tiempo, pero que se realiza de 2 a 4 veces por año, es la limpieza de los decantadores que es una operación que se debe realizar con pala a mano o mecánica y para efectos de cálculo la valorización se realiza en horas hombre.

4.2.6 Evaluación y sensibilización privada de la inversión

Para realizar la evaluación privada y sensibilización del análisis de la lechería estudiada en el caso, se consideran los siguientes supuestos:

Dependiendo del combustible utilizado actualmente, se determina el monto de inversión inicial, por efecto del ahorro económico generado por la sustitución de la fuente de energía

- Inversión Total de construcción de un SPB \$15.000.000.
- Precio de Kcal de leña= \$0,007.
- Precio kg GLP \$950.
- Precio Kwh \$100.
- Precio metro leña \$15.000.
- Tasa de descuento utilizada 10%, 12%, 15%.
- No se considera crédito por parte del privado (no opera la incorporación de la cuenta intereses financieros).
- Amortización realizada a 10 años.
- Horizonte de evaluación 20 años.
- Se evalúa con ahorro de alternativas de utilización de leña y GLP.
- El costo de materiales corresponde aproximadamente a un 80% de la inversión inicial.
- El costo de mano de obra corresponde aproximadamente a un 20% de la inversión inicial.
- Se asume un incremento del 3% anual para los costos de mantención.
- No se aplica ahorro de impuestos por fundamentos contables que rigen en la legislación tributaria vigente.

Al efectuar la evaluación de la inversión utilizando los supuestos indicados, se puede señalar que la implementación de un SPB, evaluado en un horizonte de 20 años, genera baja rentabilidad (del orden del 4,6%) y una recuperación de Capital lenta (14,2 años), lo que hace poco interesante la inversión (ver Anexo 7.8).

Sin embargo, considerando la generación de externalidades positivas, las que se abordarán con más detalle en el capítulo siguiente, se ha considerado pertinente analizar escenarios que contemplen subsidio público, los que además de rentabilizar



socialmente la inversión, desde el punto de vista del inversionista privado, al disminuir su aporte a la inversión inicial, permite incrementar la rentabilidad de su capital y disminuir el período de recuperación del mismo.

En virtud de lo anterior, y utilizando los mismos parámetros de la evaluación realizada, a continuación se presentan tres ejercicios de análisis de la rentabilidad del capital aportado por el inversionista, para lo cual se incorporan diferentes niveles de subsidio público, de manera de hacer más atractiva la inversión privada, tanto para casos de sustitución de leña como de GLP, por ser combustibles representativos del consumo energético del segmento de productores analizados.

Tabla 27: Determinación del aporte privado y subsidio público, considerando sustitución de leña (TIR 15%)

70 Vacas	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 20
Ingresos							
Ahorro leña		\$420.000	\$432.600	\$445.578	\$458.945	\$472.714	\$736.473
Excedentes		\$79.040	\$81.411	\$83.854	\$86.369	\$88.960	\$138.597
Beneficios Totales		\$499.040	\$514.011	\$529.432	\$545.314	\$561.674	\$875.070
Costos							
Costo mantención		-\$200.000	-\$206.000	-\$212.180	-\$218.545	-\$225.102	-\$350.701
Valor residual		\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$1.500.000
Inversión inicial	-\$15.000.000						
Subsidio	\$12.692.000						
Aporte privado (a)	-\$2.308.000						
Costos Totales		-\$200.000	-\$206.000	-\$212.180	-\$218.545	-\$225.102	\$1.149.299
Flujo Neto	-\$2.308.000	\$299.040	\$308.011	\$317.252	\$326.769	\$336.572	\$2.024.368
Flujo Neto Acumulado	\$0	\$299.040	\$607.051	\$924.303	\$1.251.072	\$1.587.644	\$9.535.317

(a) Corresponde al monto de inversión al que el VAN se hace cero o se acerca a este valor.

Sensibilización	VAN
VAN 10%	\$1.040.075
VAN 12%	\$548.052
VAN 15%	\$648
TIR	15,00%

Fuente: Elaboración propia.
(Ver anexo 7.8)

Para el caso de la leña, por ser un combustible de menor valor de mercado, el aporte de capital máximo efectuado por el inversionista, para conseguir una rentabilidad del 15% es de \$2.308.000, y el subsidio público debe ser del orden del 85% de la Inversión inicial, con lo que se genera una recuperación del capital privado a los 6,9 años.

En la Tabla siguiente se realiza el ejercicio considerando la evaluación para la misma lechería del caso, pero asumiendo que se utiliza como combustible a sustituir GLP.

En el caso del GLP, por tratarse de un combustible de mayor valor comercial que la leña, la sustitución posee un impacto mayor en la disminución de los costos

Tabla 28: Determinación del aporte privado y subsidio público, considerando sustitución de GLP (TIR 15%)

70 Vacas	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 20
Ingresos							
Ahorro GLP		\$988.950,00	\$1.018.619	\$1.049.177	\$1.080.652	\$1.113.072	\$1.734.130
Excedentes		\$79.040	\$81.411	\$83.854	\$86.369	\$88.960	\$138.597
Beneficios Totales		\$1.067.990	\$1.100.030	\$1.133.031	\$1.167.022	\$1.202.032	\$1.872.727
Costos							
Costo mantención		-\$200.000	-\$206.000	-\$212.180	-\$218.545	-\$225.102	-\$350.701
Valor residual		\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$1.500.000
Inversión inicial	-\$15.000.000						
Subsidio	\$8.475.000						
Aporte privado (a)	-\$6.525.000						
Costos Totales		-\$200.000	-\$206.000	-\$212.180	-\$218.545	-\$225.102	\$1.149.299
Flujo Neto	-\$6.525.000	\$867.990	\$894.030	\$920.851	\$948.476	\$976.930	\$3.022.026
Flujo Neto Acumulado	\$0	\$867.990	\$1.762.020	\$2.682.870	\$3.631.346	\$4.608.277	\$24.823.216

(a) Corresponde al monto de inversión al que el VAN se hace cero o se acerca a este valor.

Sensibilización	VAN
VAN 10%	\$2.768.871
VAN 12%	\$1.469.089
VAN 15%	\$1.683
TIR 15,00%	

Fuente: Elaboración propia.
(Ver anexo 7.8)

En el caso del GLP, por tratarse de un combustible de mayor valor comercial que la leña, la sustitución posee un impacto mayor en la disminución de los costos. Esto permite efectuar un aporte de capital más elevado y exigir al proyecto una rentabilidad al capital del 15%, lo que para este caso en particular equivale a un aporte privado máximo de \$ 6.525.000, consiguiendo la recuperación del capital invertido en un período de 6,9 años. Para tal efecto, se requiere un subsidio público mínimo del orden del 57% de la inversión Inicial; montos inferiores de subsidio generarían una rentabilidad del capital inferior al 15% exigido en este ejercicio.

En el siguiente ejercicio este mismo caso se sensibiliza considerando que existe un % de subsidio menor al indicado previamente, mostrándose la dependencia de este tipo de proyectos a los subsidios públicos, para los SPB considerados en este estudio.

Tabla 29: Determinación del aporte privado y subsidio público, considerando sustitución de GLP (TIR 10%)

70 Vacas	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 20
Ingresos							
Ahorro GLP		\$988.950,00	\$1.018.619	\$1.049.177	\$1.080.652	\$1.113.072	\$1.734.130
Excedentes		\$79.040	\$81.411	\$83.854	\$86.369	\$88.960	\$138.597
Beneficios Totales		\$1.067.990	\$1.100.030	\$1.133.031	\$1.167.022	\$1.202.032	\$1.872.727
Costos							
Costo mantención		-\$200.000	-\$206.000	-\$212.180	-\$218.545	-\$225.102	-\$350.701
Valor residual		\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$1.500.000
Inversión inicial	-\$15.000.000						
Subsidio	\$5.708.000						
Aporte privado (a)	-\$9.292.000						
Costos Totales		-\$200.000	-\$206.000	-\$212.180	-\$218.545	-\$225.102	\$1.149.299
Flujo Neto	-\$9.292.000	\$867.990	\$894.030	\$920.851	\$948.476	\$976.930	\$3.022.026
Flujo Neto Acumulado	\$0	\$867.990	\$1.762.020	\$2.682.870	\$3.631.346	\$4.608.277	\$24.823.216

(a) Corresponde al monto de inversión al que el VAN se hace cero o se acerca a este valor.

Sensibilización	VAN
VAN 10%	\$1.871
VAN 12%	-\$1.297.911
VAN 15%	-\$2.765.317
TIR 10,00%	

Fuente: Elaboración propia.
(Ver anexo 7.8)

Este tipo de inversiones se rentabilizan mejor para los tramos de mayor cantidad de vacas, donde existe una mayor generación de excedentes y se posibilita, además de la sustitución de energía calórica, la generación de energía eléctrica para autoabastecimiento

Al aplicar subsidios menores, además de incrementarse el aporte de capital privado, la rentabilidad sobre el mismo disminuye. Así con niveles de subsidio a la inversión inicial del orden del 38%, para obtener una rentabilidad del 10%, el aporte de capital debe ser de \$9.292.000, extendiéndose además el periodo de recuperación hasta los 9,3 años.

Por último, es necesario señalar que la sensibilización realizada se acotó al tipo de caso, sin embargo, de acuerdo a experiencias instaladas en la zona sur de Chile, este tipo de inversiones se rentabilizan mejor para los tramos de mayor cantidad de vacas, donde existe una mayor generación de excedentes y se posibilita, además de la sustitución de energía calórica, la generación de energía eléctrica para autoabastecimiento.



4.3 Externalidades y consideraciones para la evaluación social de un SPB

Para efectos de realizar el estudio de valorización social o evaluación social de un proyecto de construcción de un SPB, es importante tener en cuenta que existen dos escenarios, la situación sin proyecto y la situación con proyecto y la metodología seleccionada para su evaluación dependerá de quien efectúe la inversión. Si el financiamiento es privado, se utilizará la metodología de Costo-beneficio, ahora si el financiamiento es de tipo público sería aconsejable realizarlo mediante la metodología de Costo-eficiencia. El estudio social de éste tipo de proyectos requiere de un análisis acabado distinto de la naturaleza de esta publicación, razón por la cual en este texto se considera de forma descriptiva una serie de externalidades positivas que la instalación de un SPB genera, entre ellas:

- Disminución de olores
- Disminución de vectores (insectos, roedores, etc.)
- Disminución de la deforestación
- Menor emisión de gas metano y disminución del efecto invernadero
- Control de malezas
- Estabilización e higienización de purines

Toda implementación de un SPB, además de generar ahorros energéticos, aporta beneficios que se desprenden de la naturaleza misma del proyecto y sus cualidades específicas biológicas.

69

4.3.1 Disminución de olores y vectores

La disposición de los purines en los predios sin tratamiento genera olores que pueden durar varios días. Esto eventualmente dependiendo de la cercanía con poblados y otros predios, puede generar problemas de convivencia con la comunidad los cuales podrían estar en desacuerdo con las emisiones de malos olores.

Esto se debe principalmente a que se trata de materia orgánica putrescible que genera compuestos derivados de la carga de microorganismos patógenos presentes en los purines sin procesar.

En base a la experiencia en los SPB que operan actualmente, se ha determinado que la disposición en los campos de los purines tratados disminuyen significativamente los olores en comparación con purines frescos.

4.3.2 Sustitución de leña, menos deforestación

Debido a la generación de energía de un SPB se puede sustituir diversas fuentes energéticas, y entre estas la leña constituye una fuente de energía usada extensivamente por los pequeños agricultores, quienes normalmente hacen fuego en calderas que a su vez calientan el agua con la cual realizan las labores de higiene de las herramientas y equipos de ordeña. La equivalencia energética sería la siguiente:

Tabla de equivalencia energética

Contenido energético del biogás	5,5Kwh/m ³
Equivalencia a GLP	1Kwh = 78gr
Equivalencia en Petróleo	1Kwh = 0,1 L
Equivalencia en leña	1Kwh = 850 Kcal (dependiendo del tipo de bosque y humedad)

Un productor de 70 vacas consume unos 28 m³ anuales. La productividad sustentable de biomasa forestal (nativo) utilizada fue de 14,5 m³ por hectárea [28]. Por lo tanto ahorrar 28 m³ equivale a 1,87 ha de bosque no desforestado. El ahorro de no cortar 1,87 ha equivale a poder vender en el mercado la leña (\$15.000 x 28=\$420.000), o bien no hacer uso del bosque y conservarlo.

4.3.3 Menor emisión de gas metano, disminución del efecto invernadero

El uso de SPBs genera que el gas metano contenido en los purines sea procesado dentro de un espacio sellado para su posterior combustión. Se disminuyen los gases nocivos al reducir directamente la combustión de leña y carbón para cocinar, calentar agua, calefaccionar o iluminar. La combustión del biogás contribuye a la mitigación del calentamiento global, ya que el principal constituyente del biogás es el metano, el cual su efecto invernadero es 21 veces más contaminante que el dióxido de carbono CO₂. Su combustión es altamente recomendable, pues la transformación de metano a CO₂ en la combustión baja en 21 veces el efecto invernadero por átomo de carbono involucrado.

4.3.4 Control de malezas

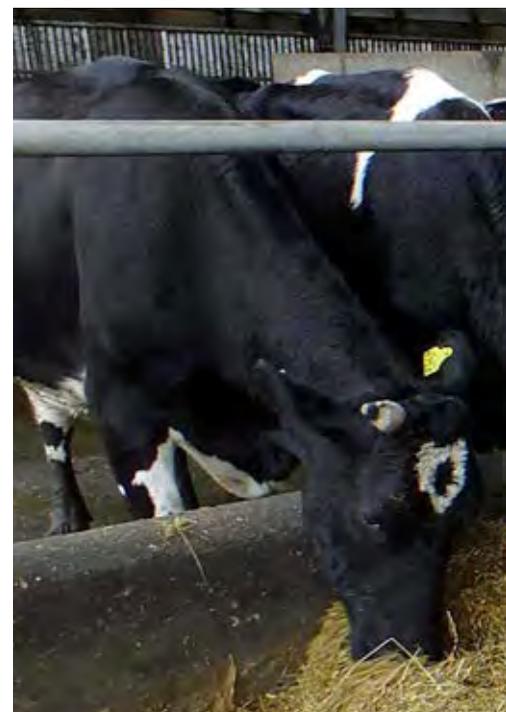
Los purines contienen semillas que no fueron desintegradas en el estómago de los bovinos, por lo cual si son dispuestos en las praderas sin procesar en un SPB, estas semillas normalmente germinan y distribuyen nuevamente la maleza en el suelo, haciendo más difícil el control por parte de los agricultores. La presencia de maleza reduce la cantidad de especies nobles en las praderas destinadas a la alimentación animal disminuyendo su calidad nutritiva. Con un SPB estas semillas son decantadas o descompuestas y se reduce casi totalmente su potencial de germinación final.

4.3.5 Estabilización e higienización de purines

El principal peligro de disponer los purines frescos en un terreno agrícola son los agentes patógenos que contiene la mezcla. Sin embargo el proceso biológico de un SPB reduce significativamente la carga microbiana y de bacterias, dependiendo de la temperatura y tiempo de retención. Esto evita que los mismos animales se enfermen por consumir pasto o agua contaminada.

4.3.6 Cumplimiento de normas medioambientales

Ante cualquier tipo de fiscalización por parte de las autoridades sanitarias correspondientes. La utilización de un SPB fomenta indiscutiblemente el cumplimiento de las normas medioambientales.



En caso de estar bajo incumplimiento de la norma medioambiental de disposición de RILES y ser fiscalizado el predio por la autoridad competente, las multas pueden llegar hasta los \$50.000.000 (cincuenta millones de pesos).

4.3.7 Criterios de evaluación social

En la evaluación social de proyectos, se identifican tres métodos: costo-beneficio, costo-eficiencia y costo-efectividad. La técnica utilizada dependerá del tipo de proyecto y de qué tan factible sea cuantificar los beneficios. Para el análisis costo-beneficio el principal indicador utilizado es el valor actual neto social, que no es otra cosa que el flujo de beneficios y costos sociales traídos a valor presente descontados por la tasa social de descuento, donde para la determinación de beneficios y costos sociales se utilizan los denominados “precios sociales”. La aplicación de este método presupone que es posible identificar y cuantificar todos los beneficios relevantes asociados al proyecto, lo que obviamente no es trivial.

Es precisamente cuando esto no ocurre que se privilegian otras técnicas, aunque estas metodologías alternativas también pueden ser aplicadas en contextos en que, simplemente, se opta por no medir los beneficios en el entendido que éstos de todos modos superarán los costos. Una posibilidad es el método de costo-eficiencia, donde el énfasis se pone en medir adecuadamente el costo de proyectos alternativos con beneficios similares, lamentablemente no es frecuente contar con otros proyectos estrictamente comparables, lo que limita su aplicación adecuada y la metodología de Costo-Efectividad, que actualmente no es utilizada en el Sistema Nacional de Inversiones. (Agostini y Razmilic, 2015).







5

NORMATIVA APLICABLE A PROYECTOS DE GENERACIÓN DE BIOGÁS

Eliana Sotomayor

En Chile, diversos órganos de la Administración del Estado tienen competencias ambientales que dan lugar a permisos o pronunciamientos que deben ser obtenidos antes de emprender un proyecto de inversión o modificar uno que esté en operación. Desde marzo de 1994 existe en el país, la Ley N° 19.300, sobre Bases Generales del Medio Ambiente, que plantea entre otras cosas, un Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA), el cual considera una serie de instrumentos de evaluación de carácter preventivo, respecto a las obras que se desarrollan en el territorio y el impacto que estas generan sobre el mismo. De estos instrumentos posiblemente los más importantes son el Estudio de Impacto Ambiental (EIA) y la Declaración de Impacto Ambiental (DIA), cuyas condiciones para el desarrollo de cada uno se señalan en el Artículo 10 y 11 de la ley respectivamente [38].

Sin embargo, a pesar de toda la normativa vigente, existe cierto desconocimiento respecto a si un proyecto o actividad debe someterse o no a dicho Sistema, es por ello que se debe realizar previamente una **Consulta de Pertinencia**. La pertinencia es la respuesta del órgano administrativo que aclara y determina cuál es el procedimiento legal para un proyecto. Hay dos preguntas claves en materia ambiental; La primera, si el proyecto debe o no someterse al SEIA. La segunda, en caso que el proyecto deba ingresar al SEIA, si debe hacerlo a través de una Declaración o de un Estudio de Impacto Ambiental [39].

Para el caso de sistemas agrícolas de menor tamaño, cuya referencia se hace en este estudio, la construcción y funcionamiento de Sistemas Prediales de Biodigestión presentan impactos menores a los que hace referencia el SEIA y generalmente se encuentran asociados a actividades ya existentes de manejo de residuos, por lo cual no deben ingresar al SEIA y sólo requieran tramitar sus Permisos Ambientales Sectoriales (PAS), a través de los organismos vinculados a cada permiso.

La magnitud de los potenciales impactos que pueda producir una planta de biogás dependerá del tipo de sustratos utilizados (tipo de biomasa y su manejo), del tamaño de la planta (flujo de sustrato y digestato y cantidades almacenadas) y su cercanía a centros poblados, reservas de agua, áreas protegidas o bienes ambientales en general[5]. Es por ello, que la normativa de carácter ambiental y los PAS aplicables a un proyecto o actividad específico deben determinarse caso a caso, siendo responsabilidad de cada titular evaluar su aplicación de acuerdo a las características y localización del proyecto. Para ello, se hace fundamental realizar previamente la **Consulta de Pertinencia**.

Sin perjuicio de lo anterior, a continuación se señalan los PAS y las normativas ambientales que podrían aplicar para proyectos de generación, producción y distribución de biogás señalados en este estudio.

De acuerdo al Nuevo Reglamento SEIA Decreto 40/2013. Título VII: De los permisos y pronunciamientos ambientales sectoriales, Permisos Ambientales Mixtos se deben considerar pertinentes los siguientes artículos[40]:

- **PAS 138 Aguas Servidas (ex PAS91):** Para la construcción, reparación, modificación y ampliación de cualquier obra pública o particular destinada a la evacuación, tratamiento o disposición final de desagües, aguas servidas de cualquier naturaleza (artículo 138 RSEIA).

El Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA) es un instrumento de gestión ambiental de carácter preventivo

**Norma Técnica
de Calidad
del Digestato
(NCh3375:2015).
La norma
sobre diseño
y operación
de plantas
de digestión
anaeróbica
establece que es
indispensable
para su
aplicación el
reconocimiento
de ésta**

- **PAS 139 RILEs (ex PAS 90):** Para la construcción, reparación, modificación y ampliación de cualquier obra pública o particular destinada a la evacuación, tratamiento o disposición final de residuos industriales o mineros (artículo 139 RSEIA).
- **PAS 140: Residuos (ex PAS 93):** Para la construcción, reparación, modificación y ampliación de cualquier planta de tratamiento de basuras y desperdicios de cualquier clase o para la instalación de todo lugar destinado a la acumulación, selección, industrialización, comercio o disposición final de basuras y desperdicios de cualquier clase (artículo 140 RSEIA).

En cuanto a las normativas ambientales pertinentes a proyectos de generación de biogás, en este estudio se consideran las siguientes:

- **Norma Chilena sobre Plantas de Digestión Anaeróbica - Diseño y Operación (PRNCh3381)** a mayo del 2016 se encuentra en proceso de estudio por parte del comité técnico. Esta norma establece una clasificación para las plantas de digestión anaeróbica de acuerdo a:
- **Tipo de materia prima [5]:** Materias primas de residuos de animales que requieren proceso de higienización. Materias primas provenientes de residuos vegetales que no requieren proceso de higienización.

- **Tipo de fermentación empleada:**

Fermentación seca; los procesos de fermentación seca generan, biogás y el digestato que puede ser aplicado como "mejorador de suelos".

Fermentación líquida: Los procesos de fermentación líquida generan, junto con el biogás, un efluente que se debe descargar al alcantarillado o a aguas superficiales. Además determina el tamaño de la planta; Pequeñas plantas de digestión anaeróbica con una potencia instalada menor o igual a 60kw. Plantas medianas de digestión anaeróbica, con una potencia instalada mayor a 60kw y menor o igual a 300kw. Grandes plantas de digestión anaeróbica, con una capacidad instalada mayor a 300kw.

- **Norma Técnica de Calidad del Digestato (NCh3375:2015).** La norma sobre diseño y operación de plantas de digestión anaeróbica establece que es indispensable para su aplicación el reconocimiento de esta norma. Su vigencia se inicia el 27/08/2015 y tiene por objetivo establecer los requisitos de calidad de los productos obtenidos a partir del proceso de digestión anaeróbica (digestato) para su aplicación en suelos y el tipo de sustrato que puede ser sometido a éste proceso.

En cuanto a la seguridad de instalaciones de biogás, actualmente no existe una normativa oficial en Chile; hasta la fecha, sólo se ha presentado un documento a consulta pública para la aprobación del reglamento. Este reglamento espera ser promulgado el 2017 y establece los requisitos mínimos de seguridad que deberán cumplir las instalaciones de biogás, cuya producción es con fines energéticos, en las etapas de diseño, construcción, operación, mantenimiento, reparación, modificación,

inspección y término definitivo de operaciones. En este documento, aún en trámite de aprobación, se expresa la distancia mínima que debe existir entre las edificaciones y equipos. Determina también los parámetros de seguridad de acuerdo al tamaño de las instalaciones, el cual se encuentra definido en la normativa respectiva (PRNCh3381). Además, establece que en el diseño y construcción se debe tener en cuenta el uso de materiales adecuados para el manejo del biogás, la protección de tuberías, la limpieza del gas y la hermeticidad del proceso, entre otros [31].

Finalmente, se describen los procedimientos para determinar la composición del gas, donde el porcentaje mínimo v/v de metano es de 50%. Además, se indica que se debe mantener registro de las composiciones y documentación de respaldo. También, el reporte de accidentes e incidentes que se debe realizar en, a lo menos, 24 hr., donde se solicita un informe con un plazo de 30 días para instalaciones medianas y grandes [30].

Cabe destacar que estas medidas de seguridad están en proceso de modificación, por lo que es indispensable determinar la normativa actualizada por cumplir en el momento que se realice el proyecto de biogás, además de tener en cuenta que en Chile se está en proceso de desarrollo de la normativa. En la tabla 30 a continuación se revisan algunas de las especificaciones legales que actualmente son aplicables a proyectos de biogás [31].



Tabla 30: Especificaciones legales que actualmente son aplicables a proyectos de biogás

Etapa de producción	Existente aplicable	Normativa aún sin referenciar al biogás
Producción	Ley 18410 (Gas/obtención y producción; distribución de energía eléctrica); DFL323/1931 (Ley de servicios de Gas) Art. 41, Art. 48 1,3,5,7 y 8; Art. 53 sanciones; Art.55 (medidas cautelares de seguridad); DSS 594/99 (condiciones sanitarias y ambientales de trabajo)	DFL 323/31 Art. 10 (ubicación plantas y gasómetros)
Almacenamiento	Ley 18410 (Gas/obtención y producción; distribución de energía eléctrica); DSE 67/2004 (Reglamento de servicio de gas de red); DSS-594/99 (condiciones sanitarias y ambientales de trabajo).	DFL 323/31 Art. 10 (ubicación plantas y gasómetros)
Tratamiento depuración	DSS 594/99 (condiciones sanitarias y ambientales de trabajo)	NCh2264.Of2009 (Gas natural - especificaciones); NCh 3213.Of2010 (biometano – especificaciones)
Transporte-distribución	DSE-280/2009 (Reglamento de seguridad para el transporte y distribución de gas de red); DSE 67/2004 (Reglamento de servicio de gas de red); DSS 594/99 (Condiciones sanitarias y ambientales de trabajo)	
Uso en instalaciones fijas	DSE-191/95 (Reglamento de instaladores de gas); DSE-298/05 (reglamento para la certificación de productos eléctricos y combustibles); OC-6433/02; DSS 594/99 (Condiciones sanitarias y ambientales de trabajo)	DSE-66/2007 (Reglamento de instalaciones interiores y medidores de gas); RE 2076/09 (Protocolos para la certificación, inspección periódica y verificación de la conversión de instalaciones interiores de gas); RE-1250/09 (Procedimiento para la autorización y control de entidades de certificación de instalaciones interiores de Gas); RE-368/08 (Declaración de instalación de centrales térmicas)
Uso en vehículos motorizados	DST-211/91 (Normas sobre emisiones de vehículos motorizados Livianos); DST 54/94 (Normas de emisión aplicables a vehículos motorizados medianos); NCh 3213 Of 2010 (biometano – especificaciones); DSS 594/99 (condiciones sanitarias y ambientales de trabajo).	DST-55/88 (Normas de emisión aplicables a vehículos motorizados pesados); DST-211/91(Normas sobre emisiones de Vehículos motorizados livianos); RE-65/00 (Certificación de vehículos a gas, Subsecretaría de Transporte)





6

CONCLUSIONES GENERALES

Conclusiones

Del presente estudio exploratorio se desprende que el potencial para generar biogás con residuos orgánicos del sector agropecuario en la Región de los Ríos es auspicioso y representa una oportunidad para aportar y al mismo tiempo, diversificar la matriz energética de la región, así como para contribuir en la gestión de residuos del sector avanzando en las metas regionales de sustentabilidad.

La producción de biogás constituye para la región una alternativa técnica y socialmente valiosa como solución a la dependencia en el uso de combustibles fósiles y del recurso bosque nativo para la obtención de leña. Existen hoy en día proyectos exitosos en desarrollo y alternativas tecnológicas que funcionan dentro de las condiciones ambientales de la Región, adaptándose a los requerimientos y capacidad de los distintos recursos disponibles e instalaciones agropecuarias existentes.

De acuerdo a las estimaciones realizadas en el presente estudio, la digestión anaeróbica de residuos de la agroindustria de la región presenta un potencial de producción de biogás cercano a los 40,3 millones de m³/año, equivalentes a 242.000 GWh de energía bruta.

Los principales sustratos corresponden a 53% la industria del queso (suero), 23% a lecherías (purines) y 18% a ferias ganaderas (estiércol-purín).

En términos de la sustitución de energía calórica en base a leña, la generación de calor potencial equivale al calor entregado por 104.500 m³ de leña (usando eficiencia de estufa de doble cámara) o bien, a 18.000 toneladas de gas licuado. Esto es significativo dado que equivale al 6% del consumo actual de leña en la Región de Los Ríos.

Respecto a la generación de energía eléctrica, y considerando el total teórico regional correspondiente al 100% del biogás utilizado en sistemas de cogeneración, el potencial eléctrico máximo correspondería a 80.600 MWh, o el equivalente a una potencia constante de 9,2 MW, lo que equivale al 14,6% del consumo regional. Esta cogeneración entregaría 96.700 GWh como calor residual aprovechable.





En relación al potencial de cambios tecnológicos innovadores, la adopción de biodigestores domiciliarios en el territorio rural en conjunto con el uso de cocinas a biogás, especialmente en el ámbito de la agricultura familiar campesina, se vislumbra como una prometedora tecnología que podría disminuir de manera importante la demanda de leña, GLP o electricidad para cocinar, permitiendo mejorar ciertos estándares de comodidad y al mismo tiempo optimizar la gestión de residuos orgánicos tanto agropecuarios como domésticos, además de su contribución a la conservación del bosque nativo.

Respecto a las externalidades positivas, no fue posible cuantificarlas por falta de información y estudios regionales al respecto, sin embargo se mencionan y describen como parte de este estudio. Aun así, se destaca la importancia de avanzar en la estimación del impacto social y ambiental para favorecer su aprobación por parte de la comunidad rural y los tomadores de decisiones involucrados.

Bajo las condiciones y valores de inversión actual (que no considera las externalidades positivas) y según el análisis económico realizado a 20 años, no resulta económicamente atractivo la instalación de un SPB en los distintos segmentos estudiados. De acuerdo al análisis realizado, y en consideración a las externalidades identificadas, las alternativas analizadas sugieren escenarios donde se justificaría la aplicación de subsidios. Sin embargo, se requiere profundizar dichos análisis considerando las diversas situaciones productivas y tecnológicas existentes así como diferentes opciones de financiamiento tales como postulación a proyectos, programas o subsidios públicos, de asociaciones gremiales, incentivos asociativos, entre otros.

Finalmente, el resultado de este estudio permitirá a agricultores, técnicos y profesionales del ámbito público y privado, contar con un documento de consulta que contiene información detallada del potencial de biogás disponible a partir de los residuos generados por la actividad agroindustrial en la región, abriendo importantes posibilidades a la generación de energía limpia, no contaminante y de mayor eficiencia energética con el consiguiente aporte al desarrollo sustentable de la actividad agropecuaria en la Región de Los Ríos.

7. ANEXOS

7.1 Análisis comparativo entre purín crudo y digerido

Comparación de contenido nutricional

A continuación se presenta un análisis comparativo del contenido nutricional de purines previo y posterior al paso por un biodigestor.

Análisis del purín sin biodigestión



LABORATORIO DE NUTRICIÓN ANIMAL
Y MEDIO AMBIENTE

INFORME DE RESULTADOS

EMITIDO POR EL LABORATORIO DE NUTRICIÓN ANIMAL Y MEDIO AMBIENTE

CÓDIGO	PRT-16-F01
VERSIÓN	03
VIGENCIA	26-04-2010

INFORME Nº 15-5612-Q

FECHA DE ENTREGA 23-02-2015

ANTECEDENTES DEL CLIENTE			
NOMBRE	MARIO AVILA GROTHUSEN	DIRECCION	JUSTO HEISSE 732
CORREO			

ANTECEDENTES DE LA MUESTRA					
CÓDIGO	45422	IDENTIFICACION	PURIN CRUDO	TIPO MUESTRA	PURIN
FECHA DE RECEPCION	26-12-2014	FECHA DE MUESTREO	25-12-2014	OBSERVACIONES EN LA RECEPCION	MINERALÉS A FINES DE FEBRERO

RESULTADOS ENSAYOS											
PARÁMETROS	EXPRESIÓN	MÉTODO	BASE SECA		BASE HUMEDA				FECHA ENSAYO	OBSERVACION	
			UNIDAD	VALOR	UNIDAD	VALOR	UNIDAD	VALOR			
Materia Seca	Ms	ME-41	(%)	0,4	(%)					27-12-2014	
Cenizas	Con	ME-40	(%)	29,1	(%)					27-12-2014	
Carbono	C	ME-42	(%)	49,5	(%)					27-12-2014	
Materia orgánica	M.O.	ME-43	(%)	72,9	(%)					26-12-2014	
pH	pH	ME-47	(%)	5,5	(%)					26-12-2014	
Conductividad Eléctrica	CE	ME-50	(µS/cm)	-	(µS/cm)						
Nitrógeno Kjeldahl	N	ME-27	(%)	11,18	(%)	0,04	(kg/Ton)	0,45		21-12-2014	
Nitrógeno Orgánico	Norg	ME-27	(%)	8,69	(%)	0,03	(kg/Ton)	0,26		21-12-2014	
Nitrógeno Amomiacal	N-NH ₃	ME-44	(%)	2,60	(%)	0,010	(kg/Ton)	0,10		26-12-2014	
Nitrato	N-NO ₃	ME-43	(%)	-	(%)	-	(kg/Ton)	-			
Fósforo	P ₂ O ₅	ME-59	(%)	0,22	(%)	0,00	(kg/Ton)	0,01		18-02-2015	
Potasio	K ₂ O	ME-55	(%)	8,73	(%)	0,04	(kg/Ton)	0,45		18-02-2015	
Calcio	CaO	ME-58	(%)	2,33	(%)	0,01	(kg/Ton)	0,08		18-02-2015	
Magnesio	MgO	ME-57	(%)	7,66	(%)	0,01	(kg/Ton)	0,07		18-02-2015	
Sodio	Na	ME-52	(%)	-	(%)	-	(kg/Ton)	-			
Azufre	S	ME-10	(%)	-	(%)	-	(kg/Ton)	-			
Zinc	Zn	ME-54	(ppm)	-	(ppm)	-	(kg/Ton)	-			
Manganeso	Mn	ME-55	(ppm)	-	(ppm)	-	(kg/Ton)	-			
Hierro	Fe	ME-56	(ppm)	-	(ppm)	-	(kg/Ton)	-			
Cobre	Cu	ME-57	(ppm)	-	(ppm)	-	(kg/Ton)	-			

OBSERVACIONES

Nº	DESCRIPCION

Análisis del purín con biodigestión



LABORATORIO DE NUTRICIÓN ANIMAL
Y MEDIO AMBIENTE

INFORME DE RESULTADOS

EMITIDO POR EL LABORATORIO DE NUTRICIÓN ANIMAL Y MEDIO AMBIENTE

CÓDIGO	PRT-16-F01
VERSIÓN	03
VICENCIA	26-04-2010

INFORME N° 15-5612-Q

FECHA DE ENTREGA 23-02-2015

ANTECEDENTES DEL CLIENTE			
NOMBRE	MARIO AVILA GROTHUSEN	DIRECCIÓN	JUSTO HEISSE 732
		CONTENIDO	

ANTECEDENTES DE LA MUESTRA					
CÓDIGO	45423	IDENTIFICACIÓN	DIGESTADO	TIPO MUESTRA	PURÍN
FECHA DE RECEPCIÓN	26-12-2014	FECHA DE MUESTREO	25-12-2014	OBSERVACIONES EN LA RECEPCIÓN	MINERALES A FINES DE FEBRERO

RESULTADOS ENSAYOS										
PARÁMETROS	EXPRESIÓN	MÉTODO	BASE SECA		BASE HUMEDA				FECHA ENSAYO	OBSERVACION
			UNIDAD	VALOR	UNIDAD	VALOR	UNIDAD	VALOR		
Materia Seca	Mts	ME-41	(%)	0.6	(%)					27-12-2014
Cenizas	Cen	ME-40	(%)	42.4	(%)					27-12-2014
Carbono	C	ME-40	(%)	32.0	(%)					27-12-2014
Materia orgánica	M.O.	ME-40	(%)	57.6	(%)					
pH	pH	ME-42	(%)	7.1	(%)					26-12-2014
Conductividad Eléctrica	CE	ME-60	(dSm)	/	(dSm)					
Nitrógeno Kjeldahl	N	ME-27	(%)	0.00	(%)	0.05	(g/Ton)	0.48		
Nitrógeno Orgánico	Norg	ME-27	(%)	0.00	(%)	0.05	(g/Ton)	0.28		
Nitrógeno Amoniacal	N-NH ₃	ME-44	(%)	4.17	(%)	0.05	(g/Ton)	0.29		26-12-2014
Nitrato	N-NO ₃	ME-43	(%)	/	(%)	/	(g/Ton)	/		
Fósforo	P ₂ O ₅	ME-36	(%)	1.25	(%)	0.01	(g/Ton)	0.07		10-02-2015
Potasio	K ₂ O	ME-33	(%)	0.48	(%)	0.06	(g/Ton)	0.57		10-02-2015
Calcio	CaO	ME-30	(%)	2.16	(%)	0.21	(g/Ton)	0.16		10-02-2015
Magnesio	MgO	ME-31	(%)	1.51	(%)	0.01	(g/Ton)	0.05		10-02-2015
Sodio	Na	ME-32	(%)	/	(%)	/	(g/Ton)	/		
Azufre	S	ME-10	(%)	/	(%)	/	(g/Ton)	/		
Zinc	Zn	ME-34	(ppm)	/	(ppm)	/	(g/Ton)	/		
Manganeso	Mn	ME-35	(ppm)	/	(ppm)	/	(g/Ton)	/		
Hierro	Fe	ME-36	(ppm)	/	(ppm)	/	(g/Ton)	/		
Cobre	Cu	ME-37	(ppm)	/	(ppm)	/	(g/Ton)	/		

OBSERVACIONES	
N°	DESCRIPCIÓN

7.2. Análisis de residuos de fosas sépticas tratados con biodigestión

A continuación se presenta un análisis de un digestato cuya biomasa de entrada incluyó aguas servidas. Puede apreciarse que los patógenos se encuentran disminuidos, estando por debajo del límite de detección.

INFORME DE ENSAYO SAB- 80254



Solicitante : AGRICOLA LAS PERDICES LTDA. Orden de Trabajo : 385.192
 Dirección : Avenida Gabriela N° 03480
 Atención Sr. (a) : Gabriel Alamo L. Fecha de Emisión : 09.04.2012

División Química y Alimentos – Sede Santiago

ANTECEDENTES

Se recibió en nuestros laboratorios una (01) muestra de Residuo, para ser sometidas a Análisis Bacteriológico, debidamente identificadas según Recepción de Muestras N° 98278 del 29 de Marzo del 2012.

FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRAS : 29.03.2012 Hora: 17:55

METODOLOGÍAS Y FECHA DE ANÁLISIS

Parámetro	Metodología	Fecha / Hora Inicio Análisis	Fecha / Hora Término Análisis
Coliformes Totales	9221-B	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, on line.	30.03.2012 – 10:00
Coliformes Fecales	9221-E		
<i>Escherichia coli</i>	9221-F		
<i>Salmonella</i>	9260-B	30.03.2012 – 10:00	06.04.2012 – 12:00

RESULTADOS

Efectuados los análisis, los resultados son los siguientes:

Muestra	Coliformes Totales NMP / 100 g	Coliformes Fecales NMP / 100 g	<i>Escherichia coli</i> NMP / 100 g	<i>Salmonella</i> Presencia / Ausencia 25 g
Residuo Esterilizado Humano	$2,3 \times 10^4$	< 20	< 20	Ausencia

Límite de Detección, Técnica Número Más Probable: NMP / 100 g = 20
 NMP / 100 g = < 20 significa Ausencia

NOTA : Los resultados son válidos sólo para la(s) muestra(s) analizada(s), la(s) cual(es) fue(ron) proporcionada(s) por el solicitante.

Olga Ureta B.
 Jefe Departamento
 Div. Química y Alimentos

Pág. 1 de 1

Nota importante al cliente

7.3. Cálculo de potenciales de biomasa y energía

7.3.1 Datos referenciados

Tabla 31: Potencial de producción de biogás por animal [32]

		Estiércol liq. [M3/animal]				Producción de gas M3/UAE/día
		UAE	Día	Mes	Año	
Bovinos	Vacas, vacunos de engorda	1	0,05	1,5	18	0,56-1,5
	Vacas de producción lechera, bueyes	1,2	0,055	1,65	19,8	0,56-1,5
	Toro de reproducción	0,7	0,023	0,69	8,28	0,56-1,5
	Vacunos jóvenes < 2 años	0,6	0,025	0,75	9	0,56-1,5
	Ternero de crianza <1 año	0,2	0,008	0,24	2,88	0,56-1,5
	Ternero en engorda	0,3	0,004	0,12	1,44	0,56-1,5
Porcinos	Porcino de engorda	0,12	0,0045	0,135	1,62	0,6-1,25
	Porcina	0,34	0,0045	0,135	1,62	0,6-1,25
	Porcinos jóvenes (<12kg)	0,01	0,0045	0,135	1,62	0,6-1,25
	Porcino jóvenes (12 - 20 Kg.)	0,02	0,001	0,03	0,36	0,6-1,25
	Porcino jóvenes (20 -45 Kg.)	0,06	0,003	0,09	1,08	0,6-1,25
	Porcino jóvenes (45 - 60 Kg.)	0,16	0,0045	0,135	1,62	0,6-1,25
Ovinos	Ovejas < 1 año	0,05	0,003	0,09	1,08	-
	Ovejas > 1 año	0,1	0,006	0,18	2,16	-
Equinos	Caballos<3años	0,7	0,023	0,69	8,28	-
	Caballos enanos	0,7	0,023	0,69	8,28	-
	Caballos>3años	1,1	0,033	0,99	11,88	-
Aves de criadero	Pollo de engorda <1200gr	0,0023	0,0001	0,003	0,04	3,5-4
	Gallina <1200gr	0,0023	0,0001	0,003	0,04	3,5-4
	Pollo <800 gr	0,0016	0,0001	0,003	0,04	3,5-4
	Gallina <800 gr	0,0016	0,0001	0,003	0,04	3,5-4

Fuente: Deublein, D. and Steinhäuser, A. (eds) (2008) Gas Preparation, in *Biogas from Waste and Renewable Resources: An Introduction*, Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, Germany. doi: 10.1002/9783527621705.ch3f

Tabla 32: Materia seca, materia orgánica, rendimiento de biogás y contenido de metano para el suero de leche

Sustrato	MS (%) [33]	MOS (%) [34]	Rdto biogás (m ³ /t MOS) [34]	Contenido CH ₄ (vol %) [34]
Suero	6	80 95	800 950	60 80

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 33: Generación diaria y anual de residuos en materia seca, expresados en kg por día y toneladas por año para FRIVAL

Parámetro	Flujo residuos ¹ (m ³ día ⁻¹)	Total ² (kg MS día ⁻¹)	Total ² (ton MS año ⁻¹)
DBO ₅		2.064	753,27
Sólidos Suspendedos	650	1.194	436
Aceites y Grasas		407	149
TOTAL		1.601	585

Fuente: ¹Datos presentados por la planta en el SEIA (2005) y ²Altaner (2009).

Tabla 34: Valores de DBO5, sólidos suspendidos totales y aceites y grasas presentes en los RILes generados en la planta FRIVAL

Parámetro	Promedio ponderado (mg /L ⁻¹)	Promedio ponderado (kg /m ⁻³)	Carga máxima diaria (kg /día)
DBO ₅	3.175	3,175	1.515
Sólidos Suspendidos	1.837	1,837	876
Aceites y Grasas	626	0,626	299

Fuente: SEIA (2005).

Tabla 35: Volumen y materia seca de residuos generados por planta FRIGOBAL al año

Parámetro	Flujo residuos ¹ (m ³ año ⁻¹)	Total ² (kg año ⁻¹)	Total ² (ton año ⁻¹)
Sólidos Suspendidos	12.031	22.101	22,1
Aceites y Grasas		7.531	7,5
TOTAL		29.632	29,6

Fuente: ¹ Vermehren [19] en base a SISS (2012) y ² Declaración de impacto ambiental planta FRIVAL [24].

7.3.2 Encuestas y entrevistas a actores relevantes

Se realizaron encuestas y entrevistas a productores de los rubros analizados, con el propósito de conocer la capacidad de generación de residuos y la demanda energética de sus procesos productivos.

Además, se realizaron entrevistas formales a los expertos de diferentes sectores, tanto empresas, consultores privados, sector académico e instituciones gubernamentales, entre otras, que permitieron tener una visión global de los diferentes sistemas productivos analizados en este estudio.

7.3.3 Encuesta productores de leche (Segmento de 0-10 vacas en ordeña)

Predio 1

El predio se encuentra ubicado en el sector de Choroico, a 14 km de la comuna de Río Bueno. La superficie total es de 10 hectáreas, de las cuales 7 corresponden a la unidad de negocio lechería y 3 son destinadas a la crianza de terneros. La empresa cuenta con un equipo de ordeña de 2 unidades, no posee línea de leche y no posee estanque enfriador. Entrega en tarro.

La raza predominante es Overo Colorado, posee 8 vacas masas, 5 vacas en ordeña y 3 vacas secas. Realiza dos ordeñas al día. Los meses de mayo a septiembre no ordeña. Durante la temporada 2014 entregó 7300 litros de leche. Las vacas están en promedio 3 horas en el patio de espera.

Predio 2

El predio se encuentra ubicado en el sector de Cayurruca, a 24 km de la comuna de Río Bueno. La superficie total es de 20 hectáreas, siendo la totalidad de la superficie destinada al rubro de leche. 15 hectáreas corresponden a la unidad de negocio lechería y 5 corresponden a la unidad de negocio crianza. La empresa cuenta con un equipo de ordeña de 2 unidades, no posee línea de leche y cuenta con un estanque enfriador de 650 litros. Realiza dos ordeñas al día.

La raza predominante del rebaño es Overo Negro y Holstein fresian. El total de vaca masa es de 16 y tiene en ordeña un promedio anual de 8. Posee 4 vacas secas.

Durante la temporada 2014, Bruno entregó 35946 litros a planta. No ordeñó durante los meses de julio y agosto. Las vacas están en promedio 4 horas en el patio de espera. No tiene pozo purinero

7.3.4 Encuesta productores de leche (Segmento de 10-25 vacas en ordeña)

Predio 1

El predio se encuentra ubicado en el sector de Choroico, a 20 kilómetros de la comuna de Río Bueno. La superficie total del predio es de 39 hectáreas, de las cuales 20 están destinadas al rubro de la leche. De éstas, 13 hectáreas corresponden a la unidad de negocio lechería y 7 a la unidad de negocio crianza. La empresa cuenta con un equipo de ordeña de 2 unidades, no posee línea de leche y no posee tanque enfriador. La señora Alicia entrega leche en tarro.

La raza de su rebaño es Overo Negro y Overo Colorado. El total de vacas masas es de 29 y tiene un promedio de 24 vacas en ordeña. En promedio al año tiene 6 vacas secas y 19 terneros. Realiza 2 ordeñas.

Durante la temporada 2014 la señora Alicia comercializó un total de 78720 litros de leche. En promedio las vacas están 4 horas en el patio de espera.

Predio 2

El predio se encuentra ubicado en el sector de Futahuente, a 50 kilómetros de la ciudad de Río Bueno. La superficie total del predio es de 21 hectárea, de las cuales 15 corresponden a la unidad de negocio lechería y 5 a la unidad crianza. La empresa cuenta con un equipo de ordeña de 4 unidades, posee línea de leche y estanque enfriador de 570 litros.

La raza predominante del rebaño lechero es Jersey, Overo Negro y Overo Colorado. El total de vacas masa son 20, en ordeña tiene 16 y 4 vacas secas en promedio al año.

Realiza dos ordeñas. La producción de leche durante la temporada 2014 fue de 76830 litros. En promedio las vacas están 4 horas en el patio de espera

7.3.5 Encuesta productores de leche (Segmento de 50-100 vacas en ordeña)

Predio 1

El predio se encuentra ubicado en el sector de Folilco, a 35 kilómetros de la comuna de Río Bueno. La superficie total es de 34,2 hectáreas propias y 26 arrendadas.

La superficie destinada al rubro de leche es de 60,2 hectáreas, de las cuales 44,2 corresponden a la unidad de negocio lechería y 16 a la unidad de negocio crianza. La empresa cuenta con un equipo de ordeña de 6 unidades, posee línea de leche y estanque enfriador de 2400 litros.

La raza predominante del rebaño lechero es Overo Colorado.

El total de vacas masa es de 117, de las cuales 84 están en ordeña. El número de vacas secas en promedio son 31. Las vacas se encuentran en el patio de espera 4 horas aproximadamente. Sí posee pozo purinero.

7.4 Encuesta ferias de ganado

7.4.1 Encuesta Tattersall de Río Bueno

- Capacidad máxima de cabezas en la feria: 2500 cabezas promedio.
- Cantidad promedio de cabezas que existen en un determinado tiempo en el recinto: Esta información aparece en la página web de la feria.
- Porcentaje de tipo de animales (vaquilla, novillo, bueyes, etc.) en un determinado período de tiempo: Esta información aparece en la página web de la feria.
- Permanencia promedio de animales en el recinto: Los animales pueden permanecer simplemente 2 a 3 horas como mínimo y como máximo 48 horas. Pero lo normal es que el animal se encuentre en el recinto, aproximadamente, 24 horas.

7.4.2 Procedimiento para deshacerse de los desechos (bostas y purines)

- Bostas: Después de ponerle aserrín a los corrales, las bostas son extraídas con pala y trasladadas con carretilla a un lugar específico del recinto para que luego, semanalmente, sean trasladadas a Curarrehue.
- Purines (Juan Carrasco): Los purines, después del manguereo y también con ayuda de la pendiente, llegan a los desagües, los cuales están próximos a los corrales, para posteriormente ser conducidos a una planta procesadora que realiza un filtrado separando los sólidos de los líquidos. Los sólidos son trasladados al recinto, donde son acumuladas las bostas y los líquidos caen en el alcantarillado.

88

7.4.3 Cantidad promedio de desechos (bostas y purines) en un determinado tiempo

- Desechos sólidos: Potencialmente 4000 Kg a 6000kg.
- Desechos líquidos: No tienen cifras específicas, ya que son desprendidos en el alcantarillado.

7.4.4 Encuesta FEGOSA Paillaco (Carlos Rocha)

- **Capacidad máxima de cabezas en la feria:** 1700 cabezas promedio.
- **Cantidad promedio de cabezas que existen en un determinado periodo de tiempo en el recinto:** Esta información aparece en la página web de la feria.
- **Porcentaje de tipo de animales (vaquilla, novillo, bueyes, etc.) en un determinado periodo de tiempo:** Esta información aparece en la página web de la feria.
- **Permanencia promedio de animales en el recinto:** Los animales pueden irse de inmediato o permanecer como máximo 48 horas. Pero lo normal es que el animal se encuentre en el recinto aproximadamente 24 horas.

7.4.5 Procedimiento para deshacerse de los desechos (bostas y purines)

- **Bostas:** Después de ponerle aserrín a los corrales, las bostas son extraídas con pala y trasladadas con carretilla a un lugar específico del recinto, para que luego, semanalmente, sean trasladadas a Curarrehue.

- **Purines:** Los purines, después del manguereo, y también con ayuda de la pendiente, llegan a los desagües, los cuales están próximos a los corrales. Posteriormente, son conducidos a 2 pozos purineros de capacidad de 10000 litros cada uno. Una vez llenos, son trasladados por un camión de FEROSOR a una planta procesadora en Puerto Montt.

7.4.6 Cantidad promedio de desechos (bostas y purines) en un determinado tiempo

- **Desechos sólidos:** Potencialmente 3000 Kg a 4000kg.
- **Desechos purines:** Potencialmente 20000 litros, entre 1 a 2 semanas tendría que ser trasladado por FEROSOR.

7.5 Entrevista criaderos de aves

7.5.1 Agrícola y avícola ciudad de Valdivia: La Avícola se dedica a la venta de insumos agrícolas y a la venta de aves de carne y ponedoras. El criadero se encuentra ubicado en las dependencias comerciales de la avícola. La capacidad máxima del recinto es de aproximadamente 2000 aves. El mayor porcentaje de su producción está orientado a la venta de pollos Broiler, los que promedian el 80% del total. Además, se comercializan gallinas y patos, los cuales promedian 12% y 8%, respectivamente.

El mayor problema que presenta la avícola en el proceso productivo es la calefacción de la sala donde se mantienen las aves. El dueño de la empresa señala que cuando iniciaron el negocio se usaban lámparas incandescentes a petróleo, pero con los años las nuevas tecnologías y el cambio en la valorización de los combustibles, ha favorecido el uso de la calefacción en base a energía eléctrica. Actualmente, el costo promedio mensual en electricidad para calefaccionar la sala de mantenimiento de las aves fluctúa entre los \$400.000 a los \$500.000 pesos.

La empresa proyecta establecer cámaras incubadoras, por lo cual estima que su consumo de energía eléctrica aumentará en un 20%.

7.6 Entrevista productores de queso

Nelson Pizarro, Lago Ranco, sector Huaimen. (Ayudante del productor Juan Pizarro)

Sectores de venta.

En ferias de Corral, Valdivia y Lago Ranco.

Precio de venta del queso.

\$4400/kilo

¿Se dedica sólo a la producción de queso?

Solamente quesería.

¿Compra la leche o tiene sus propias vacas?

Compro la leche, trabajando, aproximadamente, 1200 litros diarios

¿Cuántos kilos de queso produce en un determinado tiempo?

150 kg – 140 kg de queso diario (15 quesos)

¿Cuántos litros de suero produce en un determinado tiempo?

8 litros por kilo de queso.

¿Diariamente se produce 800-900 litros de suero?

Se desprende aproximadamente el 80 % del total de la leche.

¿La calidad de la leche afecta a la producción de suero?

Sí, afecta. Cuando la leche es más gruesa se desprende entre un 60% a un 70% del total de la leche

Natalia Unión, Lago Ranco, sector Cayurruca.

Sectores de venta.

En ferias de Valdivia y Lago Ranco.

Precio de venta del queso.

\$3500/kilo

¿Sólo se dedica a la producción de queso?

Solamente quesería.

¿Compra la leche o tiene sus propias vacas?

Compro la leche, trabajando, aproximadamente, 800 litros diarios

¿Cuántos kilos de queso produce en un determinado tiempo?

90 kg a 100 kg de queso diario (10 quesos)

¿Cuántos litros de suero produce en un determinado tiempo?

8 a 9 litros por kilo de queso.

¿Diariamente se produce 500 a 600 litros de suero?

Se desprende aproximadamente entre 80 %.

¿La Calidad de la leche afecta a la producción de suero?

Si afecta cuando la leche es más gruesa se desprende un 70% del total de la leche

7.7 Encuesta industria cerveza

Se realizaron entrevistas a 4 cervecerías artesanales de la Región, todas localizadas en Valdivia. Las cervecerías fueron:

- Cuello Negro
- 3 Puentes
- JBello
- El Growler

En general la entrevista recopiló los datos técnico-productivos necesarios para la estimación del potencial de producción de biogás de cada cervecería. Adicionalmente, se consultó sobre los planes de expansión y la visión de crecimiento del sector en el corto y mediano plazo.

Al respecto, Cerveza Cuello Negro pretende duplicar su producción en un plazo de aproximadamente dos años. El resto de las cervecerías consultadas, si bien expresaron intenciones y visión optimista respecto de su expansión, no especificaron metas o cantidades.

Consultadas sobre su visión acerca del potencial de crecimiento del sector cervecero artesanal, Cristián Olivares de Cuello Negro afirmó que es virtualmente indefinido: “La cerveza artesanal, considerando Kunstmann y Kross, acapara aproximadamente un 2% del mercado. Considerando que en USA es del 15%, la posibilidades de crecimiento son muy grandes”, destacó. Misma opinión expresó Javier Bello de Cerveza JBello. “La cervecería artesanal tiene mucho potencial; le está quitando volumen a la cervecería industrial, que hoy tiene más del 90% del mercado. Así que son miles y miles de litros”, enfatizó el emprendedor. Finalmente, Joel Driver, de Cervecería El Growler, también considera que el potencial de crecimiento es enorme. “En USA hay cervecerías artesanales que producen 20 veces lo que produce Kunstmann. El mercado de USA igual es gigante, pero aquí falta mucho todavía, tanto en la Región como en el país. En ese sentido, considerando el bajo porcentaje de las artesanales en el mercado de las cervezas, cuesta mucho ponerse un límite”, explicó.

7.8 Análisis Económico

Tabla 36:

FLUJO FINANCIERO SIN SUBSIDIO EN BASE A GLP

Caso 70 Vacas	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9
Ingresos										
Ahorro GLP		\$988.950,00	\$1.018.619	\$1.049.177	\$1.080.652	\$1.113.072	\$1.146.464	\$1.180.858	\$1.216.284	\$1.252.772
Excedentes		\$79.040	\$81.411	\$83.854	\$86.369	\$88.960	\$91.629	\$94.378	\$97.209	\$100.126
Beneficios Totales		\$1.067.990	\$1.100.030	\$1.133.031	\$1.167.022	\$1.202.032	\$1.238.093	\$1.275.236	\$1.313.493	\$1.352.898
Costos										
Costo mantención		-\$200.000	-\$206.000	-\$212.180	-\$218.545	-\$225.102	-\$231.855	-\$238.810	-\$245.975	-\$253.354
Valor residual		\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
Inversión inicial	-\$15.000.000									
Subsidio	\$0									
Aporte privado	-\$15.000.000									
Costos Totales		-\$200.000	-\$206.000	-\$212.180	-\$218.545	-\$225.102	-\$231.855	-\$238.810	-\$245.975	-\$253.354
Flujo Neto	-\$15.000.000	\$867.990	\$894.030	\$920.851	\$948.476	\$976.930	\$1.006.238	\$1.036.425	\$1.067.518	\$1.099.544
Flujo Neto Acumulado	\$0	\$867.990	\$1.762.020	\$2.682.870	\$3.631.346	\$4.608.277	\$5.614.515	\$6.650.941	\$7.718.459	\$8.818.003

Sensibilización	VAN
VAN 10%	-\$5.706.129
VAN 12%	-\$7.005.911
VAN 15%	-\$8.473.317
TIR	4,60%

FLUJO FINANCIERO CON SUBSIDIO (85%) EN BASA A LEÑA

Caso 70 Vacas	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9
Ingresos										
Ahorro leña		\$420.000	\$432.600	\$445.578	\$458.945	\$472.714	\$486.895	\$501.502	\$516.547	\$532.043
Excedentes		\$79.040	\$81.411	\$83.854	\$86.369	\$88.960	\$91.629	\$94.378	\$97.209	\$100.126
Beneficios Totales		\$499.040	\$514.011	\$529.432	\$545.314	\$561.674	\$578.524	\$595.880	\$613.756	\$632.169
Costos										
Costo mantención		-\$200.000	-\$206.000	-\$212.180	-\$218.545	-\$225.102	-\$231.855	-\$238.810	-\$245.975	-\$253.354
Valor residual		\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
Inversión inicial	-\$15.000.000									
Subsidio	\$12.692.000									
Aporte privado	-\$2.308.000									
Costos Totales		-\$200.000	-\$206.000	-\$212.180	-\$218.545	-\$225.102	-\$231.855	-\$238.810	-\$245.975	-\$253.354
Flujo Neto	-\$2.308.000	\$299.040	\$308.011	\$317.252	\$326.769	\$336.572	\$346.669	\$357.069	\$367.781	\$378.815
Flujo Neto Acumulado	\$0	\$299.040	\$607.051	\$924.303	\$1.251.072	\$1.587.644	\$1.934.313	\$2.291.383	\$2.659.164	\$3.037.979

Sensibilización	VAN
VAN 10%	\$1.040.075
VAN 12%	\$548.052
VAN 15%	\$648
TIR	15,00%

FLUJO FINANCIERO PRIVADO CON SUBSIDIO (38%) EN BASE A GLP

Caso 70 Vacas	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9
Ingresos										
Ahorro GLP		\$988.950,00	\$1.018.619	\$1.049.177	\$1.080.652	\$1.113.072	\$1.146.464	\$1.180.858	\$1.216.284	\$1.252.772
Excedentes		\$79.040	\$81.411	\$83.854	\$86.369	\$88.960	\$91.629	\$94.378	\$97.209	\$100.126
Beneficios Totales		\$1.067.990	\$1.100.030	\$1.133.031	\$1.167.022	\$1.202.032	\$1.238.093	\$1.275.236	\$1.313.493	\$1.352.898
Costos										
Costo mantención		-\$200.000	-\$206.000	-\$212.180	-\$218.545	-\$225.102	-\$231.855	-\$238.810	-\$245.975	-\$253.354
Valor residual		\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
Inversión inicial	-\$15.000.000									
Subsidio	\$5.708.000									
Aporte privado	-\$9.292.000									
Costos Totales		-\$200.000	-\$206.000	-\$212.180	-\$218.545	-\$225.102	-\$231.855	-\$238.810	-\$245.975	-\$253.354
Flujo Neto	-\$9.292.000	\$867.990	\$894.030	\$920.851	\$948.476	\$976.930	\$1.006.238	\$1.036.425	\$1.067.518	\$1.099.544
Flujo Neto Acumulado	\$0	\$867.990	\$1.762.020	\$2.682.870	\$3.631.346	\$4.608.277	\$5.614.515	\$6.650.941	\$7.718.459	\$8.818.003

Sensibilización	VAN
VAN 10%	\$1.871
VAN 12%	-\$1.297.911
VAN 15%	-\$2.765.317
TIR	10,00%

Fuente: *Elaboración propia.*

Año 10	Año 11	Año 12	Año 13	Año 14	Año 15	Año 16	Año 17	Año 18	Año 19	Año 20
\$1.290.355	\$1.329.066	\$1.368.938	\$1.410.006	\$1.452.306	\$1.495.876	\$1.540.752	\$1.586.974	\$1.634.584	\$1.683.621	\$1.734.130
\$103.129	\$106.223	\$109.410	\$112.692	\$116.073	\$119.555	\$123.142	\$126.836	\$130.641	\$134.560	\$138.597
\$1.393.485	\$1.435.289	\$1.478.348	\$1.522.698	\$1.568.379	\$1.615.431	\$1.663.894	\$1.713.810	\$1.765.225	\$1.818.181	\$1.872.727
-\$260.955	-\$268.783	-\$276.847	-\$285.152	-\$293.707	-\$302.518	-\$311.593	-\$320.941	-\$330.570	-\$340.487	-\$350.701
\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$1.500.000
-\$260.955	-\$268.783	-\$276.847	-\$285.152	-\$293.707	-\$302.518	-\$311.593	-\$320.941	-\$330.570	-\$340.487	\$1.149.299
\$1.132.530	\$1.166.506	\$1.201.501	\$1.237.546	\$1.274.673	\$1.312.913	\$1.352.300	\$1.392.869	\$1.434.655	\$1.477.695	\$3.022.026
\$9.950.533	\$11.117.039	\$12.318.540	\$13.556.086	\$14.830.759	\$16.143.671	\$17.495.971	\$18.888.841	\$20.323.496	\$21.801.191	\$24.823.216

Año 10	Año 11	Año 12	Año 13	Año 14	Año 15	Año 16	Año 17	Año 18	Año 19	Año 20
\$548.005	\$564.445	\$581.378	\$598.820	\$616.784	\$635.288	\$654.346	\$673.977	\$694.196	\$715.022	\$736.473
\$103.129	\$106.223	\$109.410	\$112.692	\$116.073	\$119.555	\$123.142	\$126.836	\$130.641	\$134.560	\$138.597
\$651.134	\$670.668	\$690.788	\$711.512	\$732.857	\$754.843	\$777.488	\$800.813	\$824.837	\$849.582	\$875.070
-\$260.955	-\$268.783	-\$276.847	-\$285.152	-\$293.707	-\$302.518	-\$311.593	-\$320.941	-\$330.570	-\$340.487	-\$350.701
\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$1.500.000
-\$260.955	-\$268.783	-\$276.847	-\$285.152	-\$293.707	-\$302.518	-\$311.593	-\$320.941	-\$330.570	-\$340.487	\$1.149.299
\$390.179	\$401.885	\$413.941	\$426.360	\$439.150	\$452.325	\$465.895	\$479.871	\$494.268	\$509.096	\$2.024.368
\$3.428.158	\$3.830.043	\$4.243.985	\$4.670.344	\$5.109.494	\$5.561.819	\$6.027.714	\$6.507.585	\$7.001.853	\$7.510.948	\$9.535.317

Año 10	Año 11	Año 12	Año 13	Año 14	Año 15	Año 16	Año 17	Año 18	Año 19	Año 20
\$1.290.355	\$1.329.066	\$1.368.938	\$1.410.006	\$1.452.306	\$1.495.876	\$1.540.752	\$1.586.974	\$1.634.584	\$1.683.621	\$1.734.130
\$103.129	\$106.223	\$109.410	\$112.692	\$116.073	\$119.555	\$123.142	\$126.836	\$130.641	\$134.560	\$138.597
\$1.393.485	\$1.435.289	\$1.478.348	\$1.522.698	\$1.568.379	\$1.615.431	\$1.663.894	\$1.713.810	\$1.765.225	\$1.818.181	\$1.872.727
-\$260.955	-\$268.783	-\$276.847	-\$285.152	-\$293.707	-\$302.518	-\$311.593	-\$320.941	-\$330.570	-\$340.487	-\$350.701
\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$1.500.000
-\$260.955	-\$268.783	-\$276.847	-\$285.152	-\$293.707	-\$302.518	-\$311.593	-\$320.941	-\$330.570	-\$340.487	\$1.149.299
\$1.132.530	\$1.166.506	\$1.201.501	\$1.237.546	\$1.274.673	\$1.312.913	\$1.352.300	\$1.392.869	\$1.434.655	\$1.477.695	\$3.022.026
\$9.950.533	\$11.117.039	\$12.318.540	\$13.556.086	\$14.830.759	\$16.143.671	\$17.495.971	\$18.888.841	\$20.323.496	\$21.801.191	\$24.823.216

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Lettinga G. Challenge of Psychrophilic Anaerobic Wastewater Treatment. Sub-department Environmental Technology, Wageningen University, Bomenweg 2, HDWageningen, The Netherlands. 2001.
- [2] Khanal SK. Anaerobic Biotechnology for Bioenergy Production: Principles and Applications. Oxford, UK: Wiley-Blackwell; 2008.
- [3] McCarty. Ecological Consequences of Recent Climate Change. *Conserv Biol* 2001;15:320–31.
- [4] Preston T. Los biodigestores en los sistemas agrícolas ecológicos. *LEISA Rev Agroecol* 2005;21.
- [5] CME-GIZ. Guía de Planificación para proyectos de Biogás en Chile. Proyecto Energías Renovables No Convencionales en Chile. Chilean Ministry of Energy - Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH. Santiago de Chile: Proyecto Energías Renovables No Convencionales (MINENERGÍA/GIZ); 2012. doi:978-956-8066-14-7.
- [6] Martí-Herrero J. Biodigestores familiares. Guía de diseño y manual de instalación. La Paz, Bolivia: Cooperación Técnica Alemana (GTZ) - Programa de Desarrollo Agropecuario (PROAGRO); 2008.
- [7] Taiganides EP. MANUAL PARA LA PRODUCCION DE BIOGAS. 2011.
- [8] Cavalli D, Cabassi G, Borrelli L, Geromel G, Bechini L, Degano L, et al. Nitrogen fertilizer replacement value of undigested liquid cattle manure and digestates. *Eur J Agron* 2016;73:34–41. doi:10.1016/j.eja.2015.10.007.
- [9] Frøseth RB, Bakken AK, Bleken MA, Riley H, Pommeresche R, Thorup-Kristensen K, et al. Effects of green manure herbage management and its digestate from biogas production on barley yield, N recovery, soil structure and earthworm populations. *Eur J Agron* 2014;52:90–102. doi:10.1016/j.eja.2013.10.006.
- [10] Vanden Nest T, Ruyschaert G, Vandecasteele B, Cougnon M, Merckx R, Reheul D. P availability and P leaching after reducing the mineral P fertilization and the use of digestate products as new organic fertilizers in a 4-year field trial with high P status. *Agric Ecosyst Environ* 2015;202:56–67. doi:10.1016/j.agee.2014.12.012.
- [11] Riva C, Orzi V, Carozzi M, Acutis M, Boccasile G, Lonati S, et al. Short-term experiments in using digestate products as substitutes for mineral (N) fertilizer: Agronomic performance, odours, and ammonia emission impacts. *Sci Total Environ* 2016;547:206–14. doi:10.1016/j.scitotenv.2015.12.156.
- [12] Gissén C, Prade T, Kreuger E, Nges IA, Rosenqvist H, Svensson SE, et al. Comparing energy crops for biogas production - Yields, energy input and costs in cultivation using digestate and mineral fertilisation. *Biomass and Bioenergy* 2014;64:199–210. doi:10.1016/j.biombioe.2014.03.061.
- [13] Guardado-Chacón JA. Tecnología del biogás. La Habana, Cuba: CUBASOLAR; 2007.
- [14] Aguas Andinas. Aguas Andinas y Metrogas inauguran planta de Biogás 2014. <https://www.aguasandinas.cl/noticias/novedades/aguas-andinas-y-metrogas-inauguran-planta-de-biogas>.
- [15] ACERA. Biogás porcino — proyecto innovador en Chile. Asociación Chilena de Energías Renovables. 2014. <http://www.acera.cl/biogas-porcino-proyecto-innovador-en-chile/>.
- [16] Schwager Energy. Proyecto Lacteos&Energía 2016. <http://www.lacteosyenergia.cl/empresa.html>.
- [17] KDM ENERGIA S.A. La experiencia del Relleno Sanitario Loma Los Colorados en Captura de Biogás y Generación de Energía en el marco de proyectos MDL. 2010. http://www.latincarbon.com/2010/docs/presentations/Day2/Sergio_Durandean.pdf (accessed February 1, 2015).
- [18] Oviedo S. Producción y Recuperación de Biogas en Vertederos de Residuos Sólidos Urbanos. Universidad de Oviedo, España, 1997.
- [19] Vermehren M. Estimación del potencial de producción de biogas en la región de Los Ríos a partir de residuos biodegradables (Estimation of the potential biogas generation from energetic crops in Los Ríos Region). Universidad Austral de Chile, 2014.
- [20] Manuel Ríos. Estimación de la Producción Potencial de Biogás a Partir de Purines Bovinos en la Región de Los Ríos (Chile). Instituto de Medicina Preventiva Veterinaria, Facultad de Ciencias Veterinarias, Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile. 2013.
- [21] Celedón M. Estimación del potencial de generación de biogás a partir de ensilajes de cultivos de trigo (*Triticum aestivum* L.) y maíz (*Zea mays*) en base a sus superficies y productividades para la Región de Los Ríos (Estimation of the biogas potential from silage of . Universidad Austral de Chile, 2014.
- [22] CNE-GTZ. Potencial de Biogás. Identificación y clasificación de los distintos tipos de biomasa disponible en Chile para la

generación de biogás. Santiago, Chile.: Chilean National Commission of Energy CNE and Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit GmbH; 2007.

- [23] INE. Encuesta de ganado bovino. Instituto Nacional de Estadísticas. Santiago, Chile.: 2011.
- [24] SEIA. Declaración de impacto ambiental proyecto “sistema Tratamiento RILES Frival S.A.”. Servicio de Evaluación Ambiental. 2005.
- [25] AIFBN. Usar leña conservando el bosque y contaminando menos. Manual de Educación Ambiental. Agrupación de Ingenieros Forestales por el Bosque Nativo. Valdivia, Chile: 2008.
- [26] Ministerio del Desarrollo Social. Evaluación Socioeconómica de Proyectos de Inversión Pública. Santiago, Chile.: 2015.
- [27] Gamma Ingenieros S.A. Modelos de Negocio que Rentabilicen Aplicaciones de Biogás en Chile y su Fomento- Informe Final Corregido. (CME) Chilean Ministry of Energy. Santiago de Chile: 2011.
- [28] Donoso PJ, Otero LA. Hacia una definición de país forestal : ¿ Dónde se sitúa Chile ? Towards a definition of a forest country : Where is Chile located ? Bosque 2005;26:5–18.
- [29] CNE-GTZ. Proyectos de biomasa. Guía para evaluación ambiental energías renovables no convencionales. Chilean National Commission of Energy CNE and Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit GmbH. Santiago, Chile.: 2007.
- [30] SEC, Documento Base de Proyecto de Reglamento de Seguridad de Instalaciones de Biogás. Superintendencia de Seguridad y Combustibles. Ministerio de Energía. Santiago de Chile: 2014.
- [31] Gamma Ingenieros S.A. Revisión Normativa Actual y Norma Técnica y de Seguridad Para Instalaciones de Biogás en la Producción y en el Uso. Santiago, Chile.: 2011.
- [32] Deublein D, Steinhäuser A. Biogas from Waste and Renewable Resources. An Introduction. Weinheim, Germany: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA; 2008.
- [33] Santos E. Utilización de diferentes niveles de proteína en combinación con suero de queso en cerdos en crecimiento y acabado. Tesis magíster scientiae. Instituto Colombiano Agropecuario. Universidad Nacional. Bogotá. 1983.
- [34] Comino E, Riggio V, Rosso M. Biogas production by anaerobic co-digestion of cattle slurry and cheese whey. Bioresour Technol 2012;114:46–53.
- [35] ORELLANA, C. 2014. Rompiendo paradigmas en la experiencia del consumidor de cerveza en el punto de venta. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Departamento de Ingeniería Industrial. 126 p.
- [36] CHAMORRO, D. 2012. Elaboración de un plan de negocios para la producción de cerveza artesanal. Universidad Austral de Chile. Escuela de ingeniería Civil industrial. 110p.
- [37] Servicio Nacional de Turismo (SERNATUR). 2014. Guía de cervezas artesanales de la Región de Los Ríos. Política Regional de Turismo Región de Los Ríos. [en línea] < <http://docplayer.es/887858-Guia-de-cervezas-artesanales-Region-de-los-Rios.html> > [consulta: 22 diciembre 2015].
- [38] MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE 2011. Ley N° 19.300, sobre Bases Generales del Medio Ambiente Ley Orgánica de la Superintendencia del Medio Ambiente.
- [39] INFORME FINAL Comisión Asesora Presidencial para la Evaluación del SEIA 2016 Ministerio del Medio Ambiente.
- [40] BIBLIOTECA DEL CONGRESO NACIONAL DE CHILE 2014. Aprueba Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental. On line <http://bcn.cl/1uvqa>.

Bibliografía complementaria como elementos de referencia de la metodología empleada en el análisis económico:

- Ingeniería Alemana S.A, 2009, Estudio para la evaluación socioeconómica y ambiental de tres biodigestores en predios de pequeños productores lecheros, ODEPA, Santiago, Chile.
- Eduardo Aldunate, 2009, Planificación estratégica, preparación y evaluación de proyectos, CEPAL, Santiago, Chile.
- Nassir Sapag Chain, Reinaldo Sapag. 2012, Preparación y evaluación de proyectos, McGrawhill, Santiago, Chile.
- Ernesto Fontaine, 1990, Evaluación social de proyectos, tercera edición, Ediciones Universidad Católica, Santiago, Chile.
- Enfoques complementarios para la evaluación social de proyectos Claudio Agostini y Slaven Razmilic, CEP 2015, Propuesta de Política Pública N° 12 de 2015.





AGRADECIMIENTOS

Instituto de Ingeniería Agraria y Suelos, IIAS, Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Austral de Chile y al profesor Dante Pinochet

Gobernación Provincial de Valdivia

Patricio Candía y Fabián Silva, INDAP Región de Los Ríos

Claudio Aguirre Ramírez, Servicio de Evaluación Ambiental (SEA), Región de Los Ríos

Karla Mass, Centro Transdisciplinario de Estudios Ambientales y Desarrollo Humano Sostenible (CEAM-UACH)

Matías Errázuriz, Genera Austral

Agricultores Región de Los Lagos y de Los Ríos

Resi Reinecke, Purranque

Ricardo Bornscheuer, Entre Lagos

Alejandro Astete, Osorno

Elfrida Grothusen, Purranque

Ricardo Hagedorn, Paillaco

Edgar Endress, Río Bueno

Ávicola Camilo Henríquez

A todos los profesionales, técnicos, productores y empresarios que colaboraron con información para realizar este estudio.

El presente documento es producto de un trabajo de investigación de carácter exploratorio sobre el potencial de producción y utilización de biogás en explotaciones silvoagropecuarias de la Región de Los Ríos, con énfasis en la pequeña y mediana agricultura. Su finalidad fue reunir antecedentes que orienten la toma de decisiones públicas y privadas, incluyendo información técnica y económica, que dé cuenta del potencial de implementación de proyectos de biogás de origen agropecuario en la Región de los Ríos.

