Estudio actualizado de línea base del proyecto (productores, potencial energético, generación de CO_2, cabezas animales por predio, justificación territorial, etc.)

Promoviendo el desarrollo de la energía a biogás en pequeñas y medianas agroindustrias seleccionadas

SAP-ID Proyecto UNIDO: 100181

Informe de avance

Noviembre 2016

Punto 3.1.2 de los Términos de Referencia (1.2.2 del POA)

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS
(INIA-Remehue)

Número de Contrato: 3000030580
Coordinador de proyecto: Francisco Salazar Sperberg
Fidel Oteiza 1956 – Pisos 11 y 12,
Providencia, Santiago, Chile

ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS
PARA EL DESARROLLO INDUSTRIAL

GLOBAL ENVIRONMENT FACILITY
INVESTING IN OUR PLANET

Equipo de trabajo:

Francisco Salazar, PhD, Ingeniero Agrónomo
Josué Martínez-Lagos, Doc., M.Sc., Ing. Ambiental
Marta Alfaro, PhD, Ingeniero Agrónomo
Marión Rodríguez, Mg., Bioingeniero
Christian Soto, Ing. Acuícola
Jorge Gontupil, PhD, Ingeniero Agrónomo
Juan Pablo Belmar, Mg., Ing. Civil Industrial

ONUDI
ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL DESARROLLO INDUSTRIAL
COMITÉ CORFO
gef
GLOBAL ENVIRONMENT FACILITY
INVESTING IN OUR PLANET
BIOGAS SECTOR LECHERO

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Contenido

..... i

ACRÓNIMOS VII

INTRODUCCIÓN 1

OBJETIVO GENERAL 1

OBJETIVOS ESPECÍFICOS 1

METODOLOGÍA DE TRABAJO 2

ANÁLISIS Y RESULTADOS 2

1. Marco regulatorio en Chile 2
   - 1.1 Normativa sanitaria y ambiental aplicable al sector lechero en Chile 3
   - 1.2 Marco legal para generación de energía a partir de biogás y normativa en desarrollo 4
   - 1.3 Normativas y reglamentos aplicables a instalaciones de generación de energía eléctrica, tanto técnica como ambiental 6
   - 1.4 Legislación internacional de índole energético y ambiental 8
   - 1.5 Legislación ambiental internacional aplicable a los efluentes de lecherías 9
2. Resumen de actores relevantes para la industria del biogás en Chile 12
   - 2.1 Estructura productiva del sector lechero en Chile 12
   - 2.2 Producción y manejo de purines en predios lecheros del sur de Chile 20
   - 2.3 Otros actores relevantes de la cadena de producción del biogás en Chile 22
   - 2.3.1 Resumen de los principales actores gubernamentales 22
   - 2.3.2 Principal actor relacionado con normativa y fiscalización de plantas de biogás en la actualidad 24
   - 2.3.3 Resumen de las principales instituciones privadas 24
   - 2.3.4 Principales empresas oferentes de tecnología relacionadas con la generación de biogás 28
   - 2.3.5 Principales instituciones de formación e investigación 37
3. Proyectos de generación de biogás en Chile 40
   - 3.1 Generación de biogás y el sector agropecuario 40
   - 3.2 Plantas de biogás en Chile 41
4. Generación de biogás en las Regiones de Los Lagos y de Los Ríos 46
   - 4.1 Justificación territorial 46
   - 4.1.1 Plantas de tamaño industrial 50
   - 4.1.2 Pequeñas o medianas plantas 51
   - 4.2 Iniciativas públicas relacionadas con proyectos en biogás en las Regiones de Los Lagos y Los Ríos 52
   - 4.3 Principales aspectos técnicos relacionados con proyectos de biogás 53
5. Biogás y reducción de Gases con Efecto Invernadero (GEI) por sustitución de combustibles fósiles 55
   - 5.1 Avances a nivel internacional 55

5.1.1 Potencial de mitigación de GEI por la implementación de sistemas de biodigestión aneróbica 57
5.1.2 Costo efectividad de la incorporación de biodigestores anaeróbicos en sistemas de producción animal 57
5.2 Avances a nivel nacional 60
5.3 Emisiones actuales de CH_4 por manejo del estiércol en las Regiones de Los Ríos y de Los Lagos....63
5.4 Proyección de las emisiones regionales....64
5.4.1 Proyección de la mitigación de emisiones de GEI asociadas la gestión del estiércol a nivel regional 65
5.4.2 Generación de biogás y de energía a nivel nacional en predios de producción de leche 66
6. Barreras que enfrenta la industria del biogás....67
6.1 Conexión a la red 67
6.2 Financiamiento....68
6.3 Formación y capacitación de recursos humanos....70
6.4 Desarrollo tecnológico 70
6.5 Aspectos regulatorios y de institucionalidad 70
6.6 Otros aspectos específicos del sector agropecuario 71
7. Conclusiones y recomendaciones 72
BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA 75

ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen 1. Recepción de leche fluida en plantas lecheras año 2015 (% de litros recibidos). 17
Imagen 2. Recepción de leche por regiones (% de litros recibidos). 18
Imagen 3. Planta de biodigestión de residuos L&E en Purranque, Región de los Lagos. 30
Imagen 4. Planta de biodigestión HBS, Los Ángeles, Región del Bío Bío 31
Imagen 5. Planta de biodigestión las Palmas, Pichidegua, Región del Libertador General Bernardo O'Higgins 31
Imagen 6. Planta de biodigestión del Fundo El Ánima, Purranque, Región de los Lagos 32
Imagen 7. Equipos de biodigestión ofrecidos por Greenwatts 33
Imagen 8. Planta de digestión anaeróbica de INIA Remehue, Osorno, Región de Los Lagos. 34
Imagen 9. Biodigestor de Metal Glass de uso domiciliario 37
Imagen 10. Tecnologías para generación de ERNC (%). 46
Imagen 11. Medidas de mitigación asociadas al manejo del estiércol según el grado de desarrollo. 56
Imagen 12. Ejemplo de curva marginal de costo y abatimiento para la agricultura irlandesa usando un análisis de ciclo de vida (LCA). 59
Imagen 13. Emisiones directas de CH_4 por manejo del estiércol en las Regiones de Los Ríos y de Los Lagos para predios con entre 100 y 500 vacas (Gg CO_2 eq/año). 64
Anexo 1. Participación de industrias lácteas en la generación de diferentes productos de interés. 81
Imagen A.1. Participación por plantas en la elaboración de leche fluida (L). 81
Imagen A-2. Participación por plantas en la elaboración de leche en polvo (kg). 81
Imagen A-3. Participación por plantas en la elaboración de quesillos (kg). 82
Imagen A-4. Participación por plantas en la elaboración de quesos (kg) 82
Imagen A-5. Participación por plantas en la elaboración de yogur (L). 83
Imagen A-6. Participación por plantas en la elaboración de crema (kg) 83
Imagen A-7. Participación por plantas en la elaboración de mantequilla (kg) 84
Imagen A-8. Participación por plantas en la elaboración de suero en polvo (kg) 84
Imagen A-9. Participación por plantas en la elaboración de leche condensada (L) 85
Imagen A-10. Participación por plantas en la elaboración de leche cultivada (L) 85
Imagen A-11. Participación por plantas en la elaboración de manjar (kg) 86

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Instrumentos legales para inyección de energía a la red según nivel de tensión. 8
Tabla 2. Comparación de políticas de fomento de biogás en distintos países 11
Tabla 3. Existencia de ganado bovino en las explotaciones agropecuarias por región. 12
Tabla 4. Destino anual de la leche por región al año 2015. 13
Tabla 5. Existencia de ganado de lechería por categoría, según región (2015). 14
Tabla 6. Productividad por tamaño de explotación lechera al año 2013. 15
Tabla 7. Conocimiento de los costos de producción y registros por región al año 2013 15
Tabla 8. Leche entregada a planta y productores por zona central y sur. 16
Tabla 9. Principales actores identificados relacionados con la producción del biogás a partir de residuos agropecuarios. 22
Tabla 10. Otras empresas proveedoras de servicios o equipos asociados al tema biogás 35
Tabla 11. Publicaciones/tesis relacionadas con el tema biogás por universidad. 38
Tabla 12. Plantas de biogás en Chile. 41
Tabla 13. Potenciales de abatimiento por incorporación de biodigestores anaeróbicos. 58
Tabla 14. Efectividad de la digestión anaeróbica. 59
Tabla 15. Principales supuestos e impacto de la implementación de biodigestores en la industria de producción de cerdos y leche bovina 61
Tabla 16. Factores de emisión (kg CH_4/animal/año), emisiones directas por manejo de estiércol (Gg CO_2 eq/año) y mitigación proyectada (Gg CO_2 eq/ año y %) para las Regiones de Los Ríos y Los Lagos. 65
Tabla 17. Estimación de la producción de biogás y energía para distintos estratos del número de vacas de producción lechera del país. 67

Acrónimos

- **ACERA:** Asociación Chilena de Energías Renovables.
- **ACHEGEO**: Asociación Chilena de Geotermia.
- **APEMEC:** Asociación de Pequeñas y Medianas Centrales Eléctricas.
- **APL:** Acuerdo de Producción Limpia.
- **APROLECHE:** Asociación Gremial de Productores de Leche de Osorno.
- **APROVAL:** Asociación Gremial de Productores de Leche de la Región de Los Ríos.
- **AS:** Autoridad Sanitaria.
- **BBVA:** Banco Bilbao Vizcaya Argentaria.
- **BCC:** Banco Central de Chile.
- **BCN:** Biblioteca del Congreso Nacional.
- **BHC:** Banco Hipotecario y de Fomento de Chile.
- **BFV:** Banco de Fomento de Valparaíso.
- **BID:** Banco Interamericano de Desarrollo.
- **BICE:** Banco Industrial y de Comercio Exterior.
- **BIRF:** Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento.
- **BT1:** Baja Tensión 1.
- **BUF:** Banco Unido de Fomento.
- **CMNUCC:** Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático.
- **CDEC:** Centro de Despacho Económico de Carga del sistema interconectado.

- **CIFES:** Centro nacional para la innovación y fomento de las energías sustentables.
- **CHP:** Combined Heat and Power (cogeneración).
- **CIE:** Centro de Innovación Energética.
- **CMF:** Factor de Conversión de Metano.
- **CNE:** Comisión Nacional de Energía.
- **CONICYT:** Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.
- **CO_2 eq:** Dióxido de carbono equivalente (ej. t CO_2 eq.)
- **COLUN:** Cooperativa Agrícola y Lechera de La Unión Ltda.
- **CORFO:** Corporación de fomento de la producción en Chile.
- **CPL:** Consejo Nacional de Producción Limpia.
- **DGA:** Dirección General de Aguas.
- **DQO:** Demanda Química de Oxígeno.
- **DS:** Decreto Supremo.
- **EEG:** Erneuerbare Energien Gesetz (Ley de Energías Renovables, Alemania).
- **ERNC:** Energías Renovables No Convencionales.
- **ESSBIO:** Empresa Sanitaria del Biobío.
- **EPA:** Environmental Protection Agency (Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos de América).
- **FAE:** Fondo de Acceso a la Energía.
- **FE:** Factores de emisión.

- **FEDELECHE:** Federación Gremial Nacional de Productores de Leche.
- **FIA:** Fundación para la Innovación Agraria.
- **FONDECYT:** Fondo Nacional de Desarrollo Científico y Tecnológico.
- **FPA:** Fondo de Protección Ambiental.
- **FUCOA:** Fundación de Comunicaciones, Capacitación y Cultura del Agro.
- **GEF:** Global Environmental Facility (Fondo para el Medioambiente Mundial).
- **GEI:** Gases de Efecto Invernadero.
- **GENERA AUSTRAL:** es una empresa dedicada a generar energía a base de fuentes renovables.
- **GLP:** Gas Licuado de Petróleo.
- **GEI:** Gases de Efecto Invernadero.
- **GORE:** Gobernación Regional.
- **HDPE:** High Density Polyethylene (Polietileno de Alta Densidad o PEAD)
- **IFC:** Corporación Financiera Industrial.
- **INGEI:** Inventario de Gases de Efecto Invernadero de Chile.
- **INDAP:** Instituto de Desarrollo Agropecuario.
- **INDC:** Contribución Nacional Tentativa.
- **INIA:** Instituto de Investigaciones Agropecuarias.
- **INN:** Instituto Nacional de Normalización.
- **IPCC:** Intergovermental Panel on Climate Change (Panel Intergubernamental de Cambio Climático).

- **IVA:** Impuesto al valor agregado.
- **KFW:** Banco Alemán Gubernamental de Desarrollo.
- **LGSE:** Ley General de Servicios Eléctricos.
- **LULUCF:** Land Use, Land-Use Change and Forestry (Uso del suelo, Cambio de uso del suelo y Forestal)
- **MACC:** Marginal Abatement Cost Curves (Curvas Marginales de Costo y Abatimiento).
- **MAPS-Chile:** proyecto "Opciones de Mitigación para Enfrentar el Cambio Climático".
- **MDL:** Mecanismo de Desarrollo Limpio.
- **MGNC:** Medios de Generación No Convencionales.
- **MMA:** Ministerio de Medio Ambiente.
- **MINENERGÍA:** Ministerio de Energía.
- **MTCE:** Toneladas Métricas de Carbono Equivalente.
- **MW:** Megawatts.
- **NAMA:** Nationally Appropiate Mitigation Action (Acciones de Mitigación Apropiadas a cada País).
- **NCh.**: Norma Chilena.
- **NTCO:** Norma Técnica de Conexión y Operación.
- **ODEPA:** Oficina de Estudios y Políticas Agrarias.
- **PEAD:** Polietileno de Alta Densidad.
- **PIB:** Producto Interno Bruto.
- **PMG:** Pequeños Medios de Generación.

- **PMGD:** Pequeños Medios de Generación Distribuidos.
- **PNUD:** Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo.
- **PPA:** Power Purchase Agreement (Acuerdo de Compra de Energía).
- **PTAS:** Plantas de tratamiento de aguas servidas.
- **PUC:** Pontificia Universidad Católica de Chile.
- **PUCV:** Pontificia Universidad Católica de Valparaíso.
- **PYME:** Pequeñas y Medianas Empresas.
- **PVC:** Policloruro de Vinilo.
- **RSEIA:** Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental.
- **RIL:** Residuos Industriales Líquidos.
- **RIS:** Residuos Industriales Sólidos.
- **RSU:** Residuos Sólidos Urbanos.
- **SAG:** Servicio Agrícola Ganadero.
- **SAGO:** Sociedad Agrícola y Ganadera de Osorno.
- **SAVAL:** Sociedad Agrícola y Ganadera de Valdivia.
- **SBIF:** Superintendencia de Bancos e Instituciones Financieras.
- **SEA:** Servicio de Evaluación Ambiental.
- **SEC:** Superintendencia de Electricidad y Combustibles.
- **SEIA:** Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental.
- **SENCE:** Servicio Nacional de Capacitación y Empleo.

- **SERCOTEC:** Servicio de Cooperación Técnica.
- **SEREMI:** Secretaria Regional Ministerial.
- **SIC:** Sistema Interconectado Central.
- **SISS:** Superintendencia de Servicios Sanitarios.
- **SMA:** Superintendencia del Medio Ambiente.
- **SNS:** Servicio Nacional de Salud.
- **SOFOFA:** Sociedad de Fomento Fabril.
- **SST:** Sólidos Suspendidos totales.
- **SVS:** Superintendencia de Valores y Seguros.
- **SV:** Sólidos volátiles.
- **TRH:** Tiempo de Retención Hidráulico.
- **UACH:** Universidad Austral de Chile.
- **UDEC:** Universidad de Concepción.
- **UDECH:** Universidad de Chile.
- **UDT:** Unidad de Desarrollo Tecnológico.
- **UE:** Unión Europea.
- **UFRO:** Universidad de la Frontera.
- **UNFCCC:** United Nation Framework Convention on Climate Change (Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático).
- **UNIDO:** United Nations Industrial Development Organization (Organización de las Naciones Unidas para el desarrollo industrial).

- **ULAGOS:** Universidad de Los Lagos.
- **USACh:** Universidad de Santiago de Chile.
- **USA:** United State of America (Estados Unidos de América)
- **USD:** United States Dollar (dólar de los Estados Unidos de América).
- **UTALCA:** Universidad de Talca.
- **UTFSM:** Universidad Técnica Federico Santa María.
- **ZVN:** Zonas Vulnerables al nitrato.

Introducción

El presente informe actualiza la información utilizada durante la postulación del proyecto al 'Global Environment Facility (GEF)' como base para el desarrollo de herramientas de fomento de la industria del biogás en Chile. En esta actualización se presenta una síntesis de la legislación que se asocia directa o indirectamente a la industria del biogás; información sobre el sector lechero con foco en las Regiones de Los Lagos y de Los Ríos; las principales empresas que actualmente ofrecen equipos y/o tecnologías y/o están relacionadas con el tema del biogás; los proyectos para la producción de biogás a nivel nacional y de las Regiones de Los Lagos y de Los Ríos; y la identificación del potencial energético y reducción de emisiones de dióxido de carbono (CO_2). Se identifican iniciativas de organismos gubernamentales y privados para el fomento de proyectos de biogás en el país y posibles barreras para su implementación. Finalmente se sugirieren recomendaciones para el desarrollo de esta tecnología especialmente en el sur de Chile.

Objetivo general

El objetivo general de este trabajo fue:

- Actualizar la información utilizada durante la postulación del proyecto al Global Environment Facility (GEF) para permitir elaborar mejores instrumentos de fomento y monitoreo del impacto que el proyecto pueda tener en la industria del biogás.

Objetivos específicos

Los objetivos específicos de este trabajo fueron:

- Actualizar la información agropecuaria referente al sector lechero, identificando los aspectos más relevantes como por ejemplo el número de productores, características de los sistemas productivos, tamaño de predio, número de cabezas por predio, entre otros.

- Determinar la línea base del proyecto en cuanto a número de predios, manejo de efluentes ganaderos, costo de la energía, cabezas de ganado, generación de biogás y reducción de Gases Efecto Invernadero (GEI) por uso biogás y sustitución de combustibles fósiles.

- Actualizar la información del potencial energético que puede alcanzar el proyecto (cálculo del biogás por vaca en base a información local y proyecciones) en base a metodologías pertinentes como por ejemplo las aprobadas por 'United Nation Framework Convention on Climate Change (UNFCCC), Intergovermental Panel on Climate Change (IPCC)', entre otras.

- Actualizar la reducción de emisiones de CO_2 (factores de emisión y proyecciones en Las Regiones de Los Lagos y de Los Ríos, como también otras regiones del país).

- Analizar la delimitación territorial utilizada en el proyecto y generar propuesta de mejora que contribuya al desarrollo de una industria del biogás en el sector lechero, determinando el impacto en la generación de energía (MW) y potencial de reducción (CO_2 eq).

Metodología de trabajo

La metodología utilizada para el desarrollo de este trabajo incluyó:

- Revisión y compilación de la información de la industria láctea. Para esto se revisó literatura científica y de extensión a nivel nacional, identificando los principales actores relacionados a la industria láctea.
- Revisión del marco regulatorio y legal en Chile que guarda relación con la producción de biogás. En esta instancia se consultaron normas y leyes nacionales desarrolladas en los últimos años y se revisaron leyes internacionales de interés.
- Análisis de la producción de biogás en Chile al año 2016. En este apartado se aporta la lista de los proyectos de biogás y su estado actual, además se identifican los principales oferentes de equipos y tecnologías del biogás a nivel nacional.
- Identificación de los principales aspectos técnicos relacionados con proyectos de biogás, resaltando su relevancia en el diseño, construcción, manejo y operación de sistemas de digestión anaeróbica.
- Estimación de las emisiones directas de metano (CH_4) por manejo del estiércol en las Regiones de Los Ríos y de Los Lagos para predios con entre 100 y 500 vacas. Además, se realizaron las proyecciones futuras para el territorio en estudio, estimando el porcentaje de reducción de emisiones si se adopta la tecnología de biodigestores anaeróbicos para todas las vacas de las regiones en estudio.
- Cálculo de la producción actual de biogás, producción de CH_4, potencial energético, producción de electricidad y producción térmica según el número de cabezas de ganado en ordeña para los predios productores de leche de las Regiones de Los Ríos y de Los Lagos, con la estratificación de acuerdo a la focalización del proyecto.
- Identificación de las principales barreras que presenta la industria del biogás y recomendaciones para fomentar el desarrollo de la industria del biogás a futuro.

Análisis y resultados

1. Marco regulatorio en Chile

En la actualidad no existe una regulación directa por medio de normas legales específicas para el sector lechero, sin embargo, la actividad industrial y productiva se regula por leyes y normas de carácter general que rigen a toda la industria nacional y por otras disposiciones específicas que

pueden tener incidencia en las actividades agropecuarias de manera indirecta. Así, se identifican principalmente tres ámbitos de regulación para el sector lechero:

- Normativa sanitaria y ambiental aplicable al sector lechero.
- Marco legal para generación de energía a partir de biogás, así como también la normativa en desarrollo.
- Normativas y reglamentos aplicables a instalaciones de generación de energía eléctrica, tanto técnica como ambiental.

Además, existe un cuarto ámbito que puede ser importante y que lo constituye la legislación internacional de índole energético y ambiental, así como de manejo de efluentes de lechería.

1.1 Normativa sanitaria y ambiental aplicable al sector lechero en Chile

La normativa sanitaria y ambiental aplicable a las industrias en Chile está enfocada principalmente al tratamiento de los residuos que se generan en los procesos de producción (Moraga, 2013). Actualmente en el sector lechero, los efluentes ganaderos (ej. purines) son utilizados como fuentes de nutrientes a través de la aplicación directa a praderas y/o cultivos suplementarios (Salazar, 2012). Solo una pequeña parte de los mismos se utiliza como sustrato base para la generación de biogás y digestato, sin embargo, se desconoce el volumen destinado a esta actividad.

Existen normativas que están vinculadas a la posible contaminación atmosférica y por olores producto del mal uso o gestión de los efluentes agropecuarios, que, aunque no están directamente relacionadas con la generación del biogás, sí pueden guardar relación con el digestato que potencialmente podría constituir una fuente de contaminación, para los cuerpos de agua subterráneos y superficiales. Estudios a nivel internacional han mostrado que los principales problemas de contaminación generados por la mala utilización de efluentes agropecuarios se relacionan con lixiviación de nitratos (NO_3^-), acumulación de metales pesados en el suelo, emisiones de amoniaco (NH_3), emisiones de óxido nitroso (N_2O), eutrofización de cuerpos de agua, malos olores, diseminación de organismos patógenos, entre otros.

En este sentido los cuerpos legales relevantes son:

- **Código Sanitario/1968:** que en su artículo 71 establece que corresponde al Servicio Nacional de Salud (SNS) los proyectos relativos a la construcción, reparación, modificación y ampliación de cualquier obra pública o particular destinada a la provisión o purificación de agua potable de una población y la evacuación, tratamiento o disposición final de desagües, aguas servidas de cualquier naturaleza y residuos industriales o mineros. Además, prohíbe descargar las aguas servidas y los residuos industriales o mineros en ríos o lagunas, o en cualquier otra fuente o masa de agua que sirva para proporcionar agua potable a alguna población, para riego o para balneario, sin que antes se proceda a su

depuración en la forma que se señale en los reglamentos. Son las Secretarias Regionales Ministeriales (SEREMIs) de Salud del país los organismos territoriales responsables de fiscalizar y sancionar las infracciones a este código.

- **DS N°46/2003, establece norma de emisión de residuos líquidos a aguas subterráneas:** es una normativa aplicable cuando existe infiltración de contaminantes en el subsuelo, las que pueden afectar acuíferos o cuerpos de agua subterráneos, que posteriormente pueden ser utilizados para el abastecimiento del agua potable. La contaminación de acuíferos producida por descargas puede representar un riesgo de salud pública, de allí su relevancia y rigurosidad en el control.

- **DS N°90/2000, establece norma de emisión para la regulación de contaminantes asociados a las descargas de residuos líquidos a aguas marinas y continentales superficiales:** es una normativa que contempla la eliminación directa de residuos líquidos en cuerpos de agua superficiales (aplicable a quienes realicen descargas y califiquen como fuente emisora). Esto se refiere a aguas residuales cuyos niveles de contaminación o carga media diaria sean superior al equivalente de las aguas servidas de una población de 100 personas.

- **DS°144/1961, establece norma para evitar emanaciones o contaminantes atmosféricos de cualquiera naturaleza:** en su artículo N°1 señala que "los gases, vapores, humos, polvos, emanaciones o contaminantes de cualquier naturaleza, producidos en cualquier establecimiento fabril o lugar de trabajo, deberán captarse o eliminarse en forma tal que no causen peligros, daños o molestias al vecindario". Además, en su artículo N°8 señala que corresponde a la Autoridad Sanitaria (AS) calificar los peligros, daños o molestias que pueda producir todo contaminante que se libere a la atmósfera, cualquiera sea su origen. Esta normativa puede ser de importancia para los predios que realizan aplicación de purines y digestato a praderas y/o cultivos dependiendo de su método de aplicación.

Para más información sobre la normativa aplicable al sector lechero desde la perspectiva sanitaria y ambiental puede consultarse la revisión de consolidación realizada por el consorcio lechero en el siguiente link:

http://consorciolechero.cl/chile/documentos/publicaciones/normativa-sanitaria.pdf

1.2 Marco legal para generación de energía a partir de biogás y normativa en desarrollo

Los siguientes cuerpos legales buscan regular de la implementación y operación de proyectos de biogás en el país:

- **Proyecto de Equidad Tarifaria Residencial:** según información de la Biblioteca del Congreso Nacional (BCN) y de La Comisión Nacional de Energía (CNE) existe un cobro desigual en las tarifas eléctricas residenciales a lo largo del País. La tarificación eléctrica se compone de los siguientes elementos: generación + transmisión + distribución +

Impuesto al valor agregado (IVA). Actualmente, la generación y la transmisión no registran mayores diferencias en sus valores a lo largo del país, en cambio la distribución de la electricidad presenta valores desiguales según la densidad poblacional de cada zona. El proyecto de ley introduce mecanismos de equidad en las tarifas eléctricas y busca disminuir las diferencias existentes en las cuentas de electricidad de los clientes finales de las distintas zonas del país. La iniciativa en mención también contempla un reconocimiento a través de un descuento en los precios por la generación intensiva de energía de algunas comunas. Concretamente este proyecto contempla dos medidas: a) equidad tarifaria residencial, en la cual se modifica el componente de distribución de las tarifas residenciales (hoy Baja Tensión 1 o BT1) logrando que la diferencia promedio de las cuentas tipo y la cuenta tipo más alta no sea superior al 10%; y b) reconocimiento a la generación local.

- **Norma Chilena 3375/2015, digestato - requisitos de calidad:** la norma específica los requisitos de calidad de este subproducto de la degradación de la materia orgánica para conseguir su correcta aplicación en el suelo.

- **Documento base de proyecto de reglamento de seguridad de instalaciones de biogás:** este documento de la Superintendencia de Electricidad y Combustibles (SEC) y el Ministerio de Energía (MINENERGÍA) establece los requisitos mínimos de seguridad que deberán cumplir las instalaciones de biogás, establecidas con fines energéticos, en las etapas de diseño, construcción, operación, mantenimiento, reparación, modificación, inspección y término definitivo de operaciones, en las cuales se realizarán las actividades de preparación de sustrato, producción, almacenamiento, transferencia, tratamiento, suministro, uso o consumo de biogás y demás actividades relacionadas, así como las obligaciones de las personas naturales y jurídicas que intervienen en dichas actividades a objeto de desarrollarlas en forma segura. Es importante mencionar que de acuerdo al DFL N°1 y N°2 del Ministerio de Minería de 1979 (modificado mediante Ley N° 20.339 de 2009), las personas naturales o jurídicas que produzcan, importen, refinen, distribuyan, transporten, almacenen, abastezcan o comercialicen fluidos gaseosos combustibles, tales como el biogás, deben inscribirse/registrarse ante la SEC. Al respecto, a través de Resolución Exenta N° 014841 del 18 de agosto del 2016, se estableció el procedimiento para el registro de plantas de biogás nuevas y en operación. Este registro se aplica a toda instalación, sin importar el tamaño de esta, o el uso que se le da al biogás.

- **Norma Chilena 3381, Diseño y Operación de Plantas de digestión anaeróbica:** es un documento del Ministerio de Medio Ambiente (MMA) con el Instituto Nacional de Normalización (INN) que durante febrero del 2016 inició un proceso de consulta pública. Este documento es la base para la implementación de una normativa chilena que regule el diseño y operación de plantas de biogás en todo el territorio nacional.

- **Ley 19.300/1994 que en el artículo 10°, DS 95/2001, Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (RSEIA), y ahora en el nuevo reglamento DS 40/2012 del Ministerio de Medio Ambiente (MMA)**: de la anterior legislación, aquellos proyectos que cumplan con alguno de los siguientes puntos deberán ser sometidos a un Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA): a) centrales generadoras de energía

mayores a 3MW; b) oleoductos, gaseoductos, ductos mineros u otros análogos; c) proyectos de saneamiento ambiental, tales como sistemas de alcantarillado y agua potable, plantas de tratamiento de agua o de residuos sólidos de origen domiciliario, rellenos sanitarios, emisarios submarinos, sistemas de tratamiento y disposición de residuos industriales líquidos o sólidos; y d) sistemas de tratamiento y/o disposición de residuos industriales líquidos que usen sus efluentes para el riego, infiltración, aspersión y/o humectación de terrenos o caminos. Si el proyecto a evaluar no encasilla con alguno de los puntos anteriormente mencionados, se procederá a someter el SEIA a una consulta de pertinencia, la cual corresponde a una petición por medio de la cual se solicita un pronunciamiento sobre el proyecto, basado en los antecedentes a proporcionar.

- **Norma Chilena 3.213/2010, biometano-especificaciones**: define el biometano y entrega las especificaciones técnicas para su transporte, distribución y suministro a clientes industriales, comerciales y residenciales.

- **Norma Chilena 72/1999, gases licuados de petróleo-especiaciones:** establece los parámetros del gas natural fósil, a los cuales debería llegar el biogás después de varios procesos de mejoramiento, para ser inyectado en mezclas a la red de gas natural.

1.3 Normativas y reglamentos aplicables a instalaciones de generación de energía eléctrica, tanto técnica como ambiental

- **Ley 20.257/2008, introduce modificaciones a la Ley General de Servicios Eléctricos respecto de la generación de energía eléctrica con fuentes de energías renovables no convencionales (ERNC):** dentro de esta modificación a la ley de servicios eléctricos el MINENERGÍA fomenta la generación de energía a partir de fuentes renovables no convencionales mediante la compra de energía por parte de distribuidores y la posibilidad de generar contratos Power Purchase Agreement (PPA). Entre las fuentes generadoras de energía beneficiadas se encuentra la generación de energía a partir de biogás.

- **Ley 20.698/2013, propicia la ampliación de la matriz energética, mediante fuentes renovables no convencionales:** esta Ley obliga a que las empresas eléctricas que efectúen retiros de energía desde los sistemas eléctricos con capacidad instalada superior a 200 MW acrediten ante la Dirección de Peajes del Centro de Despacho Económico de Carga (CDEC) del sistema interconectado respectivo que una cantidad de energía equivalente al 20% de sus retiros en cada año calendario haya sido inyectada por Medios de Generación No Convencionales (MGNC). La ley establece cuotas de generación del 6% para el año 2016, aumentándose en el 0,5% anual a partir del año 2015. Este aumento progresivo se aplicará de tal manera que los retiros afectos a la obligación al año 2015 deberán cumplir con el 5,5%, los del año 2016 con el 6%, y así sucesivamente hasta alcanzar el año 2024 el 10% para los contratos celebrados entre el 31 de agosto de 2007 y el 1 de julio de 2013. Para los contratos firmados con posterioridad a esa fecha, la obligación será del 5% al año 2013, con incrementos del 1% a partir del año 2014 hasta llegar al 12% el año 2020, e incrementos del 1,5% a partir del año 2021 hasta llegar al 18% el año 2024, y un incremento del 2% al año 2025 para llegar al 20% el año 2025. Al aumentar la cuota de participación de las

ERNC se incrementa también la demanda de MGNC, dentro de los cuales se encuentran los que generan energía eléctrica a partir de biogás.

- **Decreto Supremo 244/2006, reglamento para medios de generación no convencionales y pequeños medios de generación establecidos en la Ley General de Servicios Eléctricos:** esta normativa es relevante para proyectos cuya finalidad sea generar energía eléctrica conectada a la red de distribución. La Ley 20.257/2008 (introduce modificaciones a la Ley General de Servicios Eléctricos respecto de la generación de energía eléctrica con fuentes de energías renovables no convencionales) establece dentro de los medios de generación renovables no convencionales a aquellos cuya fuente de energía primaria sea la energía de la biomasa, correspondiente a la obtenida de materia orgánica y biodegradable, la que puede ser usada directamente como combustible o convertida en otros biocombustibles líquidos, sólidos o gaseosos, incluyendo la fracción biodegradable de los residuos sólidos domiciliarios y no domiciliarios. En conjunto con lo anterior, con este Decreto Supremo (DS) las autoridades han abordado la regulación de las actividades de los Pequeños Medios de Generación (PMG), en cuanto a sus precios y condiciones de conexión, buscando fomentarlos. Además, establece que los propietarios de los MGNC estarán exentos del pago total o de una porción de los peajes por el uso de las instalaciones de transmisión troncal del respectivo sistema.

- **Ley 20.571/2012, regula el pago de las tarifas eléctricas de las generadoras residenciales**: con esta Ley los usuarios finales de la electricidad (principalmente clientes regulados) tienen el derecho de instalar equipos de generación de energía de hasta 100 kW, e inyectar a la red el excedente. A partir del 6 de septiembre de 2014 las distribuidoras de electricidad deben pagar por esta energía recibida, lo cual se rige por un contrato que puede estar sujeto a variaciones en el tiempo, por lo que es importante al implementar un sistema la visión a corto, mediano y largo plazo acerca del funcionamiento de las plantas.

- **Ley 20.018/2005, Ley General de Servicios Eléctricos (LGSE):** cualquier inyección de energía a la red está normada por la LGSE, la cual autoriza los tipos de contratos de compra y venta de energía. Esta ley establece que propietarios de medios de generación conectados al sistema eléctrico respectivo cuya fuente sea no convencional, tales como geotérmica, eólica, solar, biomasa, mareomotriz, pequeñas centrales hidroeléctricas, cogeneración y otras similares, cuyos excedentes de potencia suministrada al sistema sean inferiores a 20.000 kW estarán exceptuados del pago total o de una porción de los peajes por el uso que las inyecciones de esos medios de generación hacen de los sistemas de transmisión troncal bajo criterios definidos.

- **Norma Eléctrica 4/2003, electricidad instalaciones de consumo en baja tensión:** ésta normativa determina las condiciones mínimas de seguridad y mantenimiento que deben cumplir las instalaciones eléctricas de consumo en baja tensión para salvaguardar a los operarios o usuarios y preservar el medio ambiente en que han sido construidas. Esta norma es aplicable a proyectos, ejecución y mantenimiento de las instalaciones de consumo cuya tensión sea inferior a 1000 V.

- **Norma Seguridad Eléctrica 5/1971, reglamento de instalaciones eléctricas de corrientes fuertes:** en esta norma se considera corrientes fuertes a aquellas que presentan en ciertas circunstancias un peligro para las personas o cosas (instalaciones que sirven para generar, transportar, convertir, y distribuir energía eléctrica). Esta norma fija las disposiciones para el mejoramiento y modificaciones de nuevas instalaciones eléctricas de corrientes fuertes y de las existentes que sobrepasan los 1000 V.

En la Tabla 1 se resumen los instrumentos legales aplicables de acuerdo al nivel de tensión en relación a posible inyección a la red:

Tabla 1. Instrumentos legales para inyección de energía a la red según nivel de tensión.

Nivel de tensión	< 1 kV	1 kV - 23 kV
Marco legal	LGSE/2005*	LGSE/2005*
Reglamento	---	DS 244/2006**
Normativa	NCh. Elec. 4/2003***	NSEG Elect. 5/1971****

Fuente: *Ley General de Servicios Eléctricos (2005); ** Reglamento para medios de generación no convencionales y pequeños medios de generación establecidos en la ley general de servicios eléctricos (2006); ***Norma Chilena Eléctrica N°4 (2003); ****Norma Chilena eléctrica N°5 (1971).

1.4 Legislación internacional de índole energético y ambiental

A nivel internacional existe legislación directamente relacionada con temas relacionados al biogás (ej. materiales de construcción utilizados para la construcción de plantas, aspectos de seguridad, etc.). El principal reglamento utilizado en Europa, elaborado por el Parlamento y Consejo Europeo y vinculado a la producción de biogás, es el Reglamento N° 1069/2009/EC mediante el cual se establecen las normas sanitarias aplicables a los subproductos animales y los productos derivados no destinados al consumo humano. Esta normativa es aplicable a todos los países de la Unión Europea (UE) y tiene por objetivo especificar los requerimientos sanitarios para la manipulación y procesamiento de los residuos generados por la industria agropecuaria, así como también los requisitos específicos de la composición química de los subproductos generados (ej. biogás y digestato) para su correcta utilización.

Cada estado miembro de la UE puede tener su propia normativa para la generación de energía a partir de biogás. Por ejemplo España cuenta con el Real Decreto 616/2007 sobre el fomento a la cogeneración de energía. Este busca fomentar el ahorro de energía primaria (generada a partir de métodos convencionales), la eliminación de pérdidas en la red y la reducción de las emisiones de GEI con el fin de contribuir con el Protocolo de Kioto de la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC). Dentro de esta legislación se incorporan modificaciones a la ley española en virtud de fomentar la cogeneración de energía térmica y eléctrica, con lo que se

regulan actividades de transporte, distribución, comercialización, suministro y procedimientos de autorización de instalaciones de energía eléctrica a partir de biogás.

Por otra parte en Alemania, la Asociación Alemana de Biogás, propone normativas y fomentos al estado, y contribuyó a la creación de la Ley Alemana de Energías Renovables (Erneuerbare Energien Gesetz o Ley de Energías Renovables, -EEG-), la cual a través del tiempo ha buscado mejorar la prioridad en la conexión; regular la compra y transmisión de electricidad generada a partir de fuentes renovables; y establecer una tarifa específica y constante en el precio de la energía para un periodo de 20 años. A través de este instrumento legal también se busca garantizar la seguridad en la planificación de proyectos de inversión a largo plazo; calcular gastos constantes para los consumidores; y mejorar la participación local y regional del rubro agropecuario (Asociación Alemana de Biogás, 2016).

En el marco de la EEG, específicamente mediante la EEG 250/2000 prioriza la inyección de energía generada a partir de fuentes renovables a la red; la EEG 450/2004 entrega un incentivo económico por el uso de recursos renovables y por la utilización del calor generado a partir de biogás; la EEG 1000/2009 entrega un incentivo por el uso de estiércol para la generación de energía, uno para la reducción de emisiones de GEI y uno por el uso de tecnologías innovadoras para generación de biogás; y la EEG 300/2012 busca la creación de un sistema energético nuevo cada 20 años que contemple los diferentes requisitos en materia de eficiencia energética y ecológica.

La Tabla 2 compara aspectos legislativos ligados al área de producción de biogás en Alemania, Brasil y España.

1.5 Legislación ambiental internacional aplicable a los efluentes de lecherías

La principal norma existente referente a la protección de aguas y que aplica en el ámbito de purines de lechería es la Directiva de NO_3^- 91/676/EC de la UE. Esta normativa tiene como objetivo reducir la contaminación de cuerpos de agua superficiales causadas o inducidas por el nitrógeno (N) proveniente de las distintas fuentes agropecuarias. Para ello, todos los países integrantes de la UE debieron generar códigos de buenas prácticas, designar áreas o zonas vulnerables a la contaminación con NO_3^- (ZVN) y establecer acciones y programas de monitoreo. Se denomina ZVN a las áreas en que ya existe un grado de contaminación de las aguas por presencia de NO_3^-, por lo que se busca impedir que esta contaminación aumente. En la UE se consideran ZVN a las áreas donde la concentración de NO_3^- en agua excede los 50 mg/L.

La mayor parte de la normativa asociada al uso de purines o residuos líquidos se ha basado históricamente en la limitación de la cantidad de N a aplicar. Sin embargo, y debido a que la mayor contaminación se produce por efecto del fosforo (P) en países como Dinamarca y Holanda, este elemento también ha comenzado a ser considerado como limitante en la utilización de fertilizantes de origen orgánico, debido a que basta con muy pequeñas cantidades de P en el agua para causar el fenómeno de eutrofización (0,01 mg/L).

La normativa austriaca por su parte, 2006/189/CE, es aún más estricta ya que regula el N orgánico aportado al suelo por el estiércol o purín con un límite máximo de 230 kg N/ha/año y el N total aplicado con un valor límite de 280 kg N/ha/año, restringiendo así el uso de N inorgánico (fertilizante comercial) adicionado al suelo. Lo que se busca con esto es que los agricultores no sobre apliquen N a sus cultivos o praderas, sin haber contabilizado el real aporte de los purines, estiércol o digestato. En tanto, en Nueva Zelandia existen recomendaciones de no aplicar más de 150 kg N/ha/año en cuencas hidrográficas específicas.

Tabla 2. Comparación de políticas de fomento de biogás en distintos países

	Países		
Políticas	**Alemania**	**Brasil**	**España**
Legislación fomento ERNC	Sí	Sí	Sí
Legislación específica para biogás	Si	En discusión en Cámara de Representantes	Sí
Política de fomento	Sí	Sí	Sí
Medidas de fomento específicas para biogás o ERNC	Sí	Sí	Sí
Tarifas garantizadas	Sí	No	Sí
Cuotas de Energía Reservadas	No	No	No
Conexión Eléctrica Asegurada	Sí	No	Sí
Monto subsidio	Tarifa especial	No	No
Otros incentivos	Bonos cultivo, purines, paisaje, cogeneración, tecnológico, aire.	Financiamiento de programas y proyectos. Fomento de generación energética.	Fomento de generación de energías renovables.
Fuentes de biogás más importantes	Cultivos energéticos, estiércol y purines, rellenos sanitarios, residuos industriales líquidos.	Rellenos sanitarios, agroindustria, plantas de tratamiento de aguas.	Rellenos sanitarios, plantas de tratamiento de aguas, agroindustrias, residuos industriales líquidos.
Usos de biogás más importantes	Generación de energía eléctrica y térmica, inyección a la red.	Generación térmica y eléctrica, usos prediales y domiciliarios.	Generación eléctrica y térmica.
Producción bruta de electricidad	32,67 TWh/año (2015)	Sin información actual	907 GWh/año (2014)
Capacidad instalada total (MW)	4177 MW (2015)	254 MW (2014)	Sin información actual
Resultados de políticas	Creció en 23 años, de 139 a 8928 plantas.	Aun no se puede evaluar resultados.	35 plantas de biogás instaladas, número menor a lo esperado según el Plan de Energías Renovables de España (2011-2020).

Fuentes: adaptado de Comisión Nacional de Energía (2010), modificado en base a Hofman, F. (2016); Canal (2016); Observ'ER (2015).

2. Resumen de actores relevantes para la industria del biogás en Chile

2.1 Estructura productiva del sector lechero en Chile

La existencia de ganado bovino se concentra en las Regiones de Los Lagos y Los Ríos, que albergan *c.* 45% del total de las cabezas de ganado bovino del país (producción de leche y carne), distribuidos en 44.769 informantes y una superficie total de 2.251.623 hectáreas (INE, 2007). El mayor número de cabezas bovinas se encuentra en la Región de los Lagos con un 28% del total nacional (Tabla 3).

Esto se debe principalmente a las características edafoclimáticas de la zona que permiten que los animales puedan ser alimentados casi exclusivamente en base a praderas, con limitada suplementación en periodos críticos (verano e invierno). Lo cual influye en que la zona centro-sur de Chile sea una de las zonas más propicias para la explotación ganadera y por lo tanto para la producción de leche en forma comercial.

Tabla 3. Existencia de ganado bovino en las explotaciones agropecuarias por región.

Región	Explotaciones informantes		Bovinos	
	N°	Superficie (ha)	Informantes	Cabezas
Arica y Parinacota	871	170.201,93	162	2.267
Tarapacá	1.005	221.857,93	39	123
Antofagasta	924	9.301,89	77	277
Atacama	1.380	738.549,55	176	7.148
Coquimbo	9.734	1.537.569,86	2.529	41.288
Valparaíso	6.123	585.044,22	3.148	103.089
Metropolitana	5.398	671.312,64	2.640	102.027
O'Higgins	9.194	651.312,64	3.708	83.346
Maule	19.664	1.145.388,57	10.521	258.227
Biobío	37.531	1.200.414,47	23.969	449.369
La Araucanía	45.876	1.549.895,78	37.634	668.015
Los Ríos	14.137	854.311,71	12.240	621.603
Los Lagos	30.632	1.397.311,07	25.901	1.047.167
Aysén	2.546	1.247.716,62	2.208	193.802
Magallanes y Antártica	798	3.596.254,47	450	141.759
TOTAL	**185.813**	**15.576.425,79**	**125.402**	**3.719.507**

Fuente: Instituto Nacional de Estadísticas (INE, 2007).

La industria láctea se sitúa principalmente entre las Regiones de Valparaíso y Los Lagos, los productores ubicados en este territorio son quienes proveen de leche para la industrialización de la misma y sus derivados. En las Regiones de Los Lagos y de Los Ríos el destino de la leche es principalmente hacia plantas procesadoras (Valdovinos, 2015), siendo en promedio 94% de esta producción destinada a planta y 4% a queserías (Tabla 4).

Tabla 4. Destino anual de la leche por región al año 2015.

	Destino de la leche (% de litros)						
Región	**Plantas procesadoras lecheras**	**Queserías**	**Crianza de terneros**	**Auto consumo humano**	**Venta directa**	**Industrialización en el predio**	**Otros**
Valparaíso	85,6	0,61	5,19	0,002	2,85	5,63	0,12
Metropolitana	75,72	10,58	0,23	0,04	2,38	10,25	0,78
O'Higgins	64,28	27,94	0,59	0,74	6,45	-	-
Maule	-	99,67	0,33	-	-	-	-
Biobío	67,14	23,33	1,76	0,11	0,14	6,67	0,85
La Araucanía	69,01	23,03	1,69	0,66	0,09	5,51	-
Los Ríos	95,79	2,45	1,56	0,2	-	-	-
Los Lagos	92,4	5,49	1,51	0,02	-	0,49	0,08
Aysén	-	-	-	-	-	-	-
Magallanes	7,63	14,23	-	1,42	8,75	63,24	4,73
Total país	**89,27**	**7,05**	**1,6**	**0,14**	**0,25**	**1,56**	**0,13**

Fuente: INE (2015)

Del total del ganado lechero, la mayor fracción corresponde a vacas de lechería (Tabla 5). Las Regiones de Los Lagos y de los Ríos albergan al 83% del total de ganado bovino lechero del país, demostrando la importancia que posee la industria agropecuaria en estas regiones, generando la mayor parte de la producción lechera del país (Smith, 1999). Específicamente la Región de Los Lagos posee el 56%, mientras que la Región de Los Ríos alberga el 27% del ganado bovino lechero nacional.

La mayoría de los productores lecheros del país están agrupados en federaciones gremiales y asociaciones que velan por los intereses comunes de los productores del rubro. A su vez estas asociaciones regionales conforman la Federación Gremial Nacional de Productores de Leche. Las principales asociaciones y organizaciones de las Regiones de Los Ríos y los Lagos son:

- **FEDELECHE (Federación Gremial Nacional de Productores de Leche):** su página web es www.fedeleche.cl

- **APROLECHE (Asociación de Productores de Leche de Osorno):** su página web es www.aproleche.cl

- **APROVAL (Asociación de Productores de Leche de la Región de Los Ríos):** su página web es www.aproval.cl

- **SAVAL (Sociedad Agrícola y Ganadera de Valdivia):** su página web es www.savalfg.cl

- **SAGO (Sociedad Agrícola y Ganadera de Osorno):** su página web es www.sago.cl

- **Consorcio Lechero:** su página web es www.consorciolechero.cl

Tabla 5. Existencia de ganado de lechería por categoría, según región (2015).

Región	Total	Vacas			Vaquillas	Terneras	Terneros	Toros
		Por ordeña	Nodrizas	De desecho				
Valparaíso	10.651	5.437	388	48	2.049	2.633	90	6
Metropolitana	23.759	11.627	1.591	293	4.543	4.340	1.208	157
O'Higgins	7.482	3.929	-	335	1.482	1.341	348	4
Maule	280	161	-	14	63	42	-	-
Biobío	43.327	21.726	4.454	588	7.092	7.385	1.726	356
La Araucanía	54.232	26.930	358	1.117	12.438	8.836	4.170	383
Los Ríos	228.584	130.802	3.368	3.185	46.207	38.160	6.455	407
Los Lagos	463.335	235.341	1.240	7.418	78.360	93.676	42.561	4.739
Aysén	-	-	-	-	-	-	-	-
Magallanes	1.586	623	73	31	315	258	240	46
TOTAL	**833.236**	**436.576**	**11.472**	**13.029**	**152.549**	**156.671**	**56.798**	**6.141**

Fuente: INE (2015).

Los predios lecheros pueden agruparse de acuerdo al tamaño del rebaño tal como se puede observar en la Tabla 6. En base al número total de vacas lecheras reportadas entre las Regiones de Valparaíso y Magallanes, la Región de Los Ríos representa el 14% de vacas estratificadas en un rango de 100-500, mientras que para el mismo estrato, la Región de Los Lagos alberga un 25% del total de vacas.

En cuanto a la tarifa de energía eléctrica pagada por los productores pecuarios de las Regiones de Los Ríos y de Los Lagos no existe una sola estimación, ya que esta depende de la potencia asociada y contratada por cada predio según los requerimientos productivos. Actualmente podemos encontrar distintas tarifas, las que presentan valores que oscilan en un rango entre $86 y $194 por kWh (tarifas al 1 de Abril del 2016, según informe de suministro eléctrico de SAESA).

Por otra parte, sólo el 31% de lecherías de la Región de Los Ríos conoce sus costos de producción y lleva un registro de los mismos (Tabla 7); mientras que en la Región de Los Lagos el 26% de las lecherías conoce sus costos de producción y sólo un 21% lleva un registro de los mismos. En tanto,

el promedio a nivel nacional muestra que 40% no conoce los costos de producción y que solo el 28% lleva un registro de los mismos. Esto evidencia una deficiencia importante en la gestión predial, caracterizada por la falta de registros, lo que limita la disponibilidad de información para realizar evaluaciones de rentabilidad actual y futura de sistemas de biogás en planteles lecheros.

Tabla 6. Productividad por tamaño de explotación lechera al año 2013.

Número de vacas/lechería	N° total de vacas lecheras	N° de vacas lecheras Región de Los Ríos	N° de vacas lecheras Región de Los Lagos
1 a 19	72.381	21.686	39.018
20 a 49	43.228	12.952	23.303
50 a 99	41.052	12.299	22.129
100 a 299	134.202	40.208	72.343
300 a 499	70.301	21.063	37.896
500 o más	75.413	22.594	40.652
TOTAL	**436.576**	**130.802**	**235.341**

Fuente: Elaboración propia (2016) en base a INE (2015) e informe Agrosur GESTA para el Consorcio Lechero.

Tabla 7. Conocimiento de los costos de producción y registros por región al año 2013

Lecherías (%) por región				
Región	**Conoce costos de producción por litro de leche**		**Lleva registros de sus costos directos**	
	Sí	**No**	**Sí**	**No**
Valparaíso	50,64	49,36	26,52	73,48
Metropolitana	34,93	65,07	35,52	64,48
O' Higgins	39,03	60,97	29,30	70,70
Maule	-	100,00	-	100,00
Biobío	49,30	50,70	35,27	64,73
La Araucanía	48,29	51,71	19,61	80,39
Los Ríos	31,33	68,67	30,83	69,17
Los Lagos	25,57	74,43	21,22	78,78
Promedio	**39,87**	**65,11**	**28,32**	**75,22**

Fuente: Indicadores Consorcio Lechero (2015).

En Chile la zona sur es el área de donde proviene el mayor volumen de leche entregada a planta, siendo equivalente a un 88% del total (la zona central solo aporta con un 13%). La leche que proviene de la zona sur es entregada principalmente en las Regiones de Los Ríos y Los Lagos, lo que demuestra la importancia que poseen estas dos regiones en la producción de lácteos del país (Tabla 8).

Tabla 8. Leche entregada a planta y productores por zona central y sur.

	Leche entregada		Productores	
	Litros	**% del total**	**N°**	**% del total**
Total	1.758.458.687	82	2.340	100
		ZONA		
Zona Central	223.357.708	12	256	11
Zona Sur	1.535.100.980	88	2.085	89

Fuente: Indicadores Consorcio Lechero (2015).

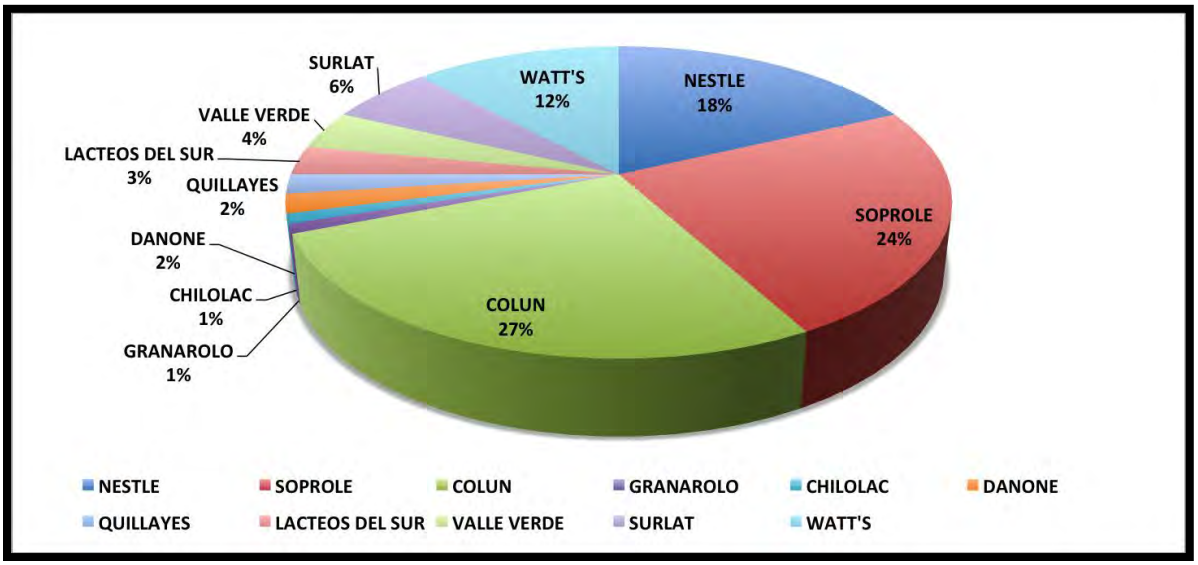
El Boletín de la Leche de ODEPA de febrero del 2016 indica que durante el 2015 la recepción de leche de las industrias fue la menor de los últimos cinco años con 2.028,8 millones de litros, siendo el resultado para el año 2015 un 5,6% inferior al del año anterior. En las regiones del sur la recepción disminuyó, imponiendo la tendencia general para el país, dada la importancia de esta zona en la producción nacional de leche. La mayor baja se registró en La Araucanía con una reducción anual de 17,7% y cuyas plantas se abastecen en parte de la leche generada en las Regiones de Los Ríos y Los Lagos.

La baja anual en la Región de Los Lagos, la más importante productora de leche, fue mayor que la variación nacional (-6,1%). Esto estuvo asociado al fuerte déficit hídrico registrado entre octubre de 2014 y mayo de 2016, lo que afectó la productividad de los predios durante el 2015. Este déficit fue el más grave de los últimos 50 años, y dejó en evidencia la susceptibilidad de sistemas productivos basados en el pastoreo de praderas de secano ante los nuevos escenarios de cambio climático. En cambio, la producción en la Región Metropolitana sólo bajó 1,1% durante el año reportado.

Las principales empresas en el sector lechero son: Colún con un 27% del total, seguida por Soprole con un 24% del total, Nestlé y Watt's con un 18% y 12% del total respectivamente (Imagen 1). Aunque en este año, la recepción de leche bajó en todas las plantas, esto no se observó en tres empresas que producen casi exclusivamente queso y mantequilla: Valle Verde, Chilolac y Granarolo, que sucedió a Bioleche.

De acuerdo a ODEPA (2016) el precio medio anual de adquisición de la leche en planta a nivel nacional, expresado en moneda de febrero de 2016, fue de $ 210,28, inferior en 13,5% con respecto al de 2014 y el menor de los últimos cinco años. En relación con la producción industrial, la reducción en la recepción de leche se tradujo en una disminución de 15,7% en la producción de las diferentes leches en polvo, principalmente con 26% de materia grasa y más. La producción de leche descremada bajó (2,7%) y aumentó la producción de mantequilla (2,3%).

Imagen 1. Recepción de leche fluida en plantas lecheras año 2015 (% de litros recibidos).



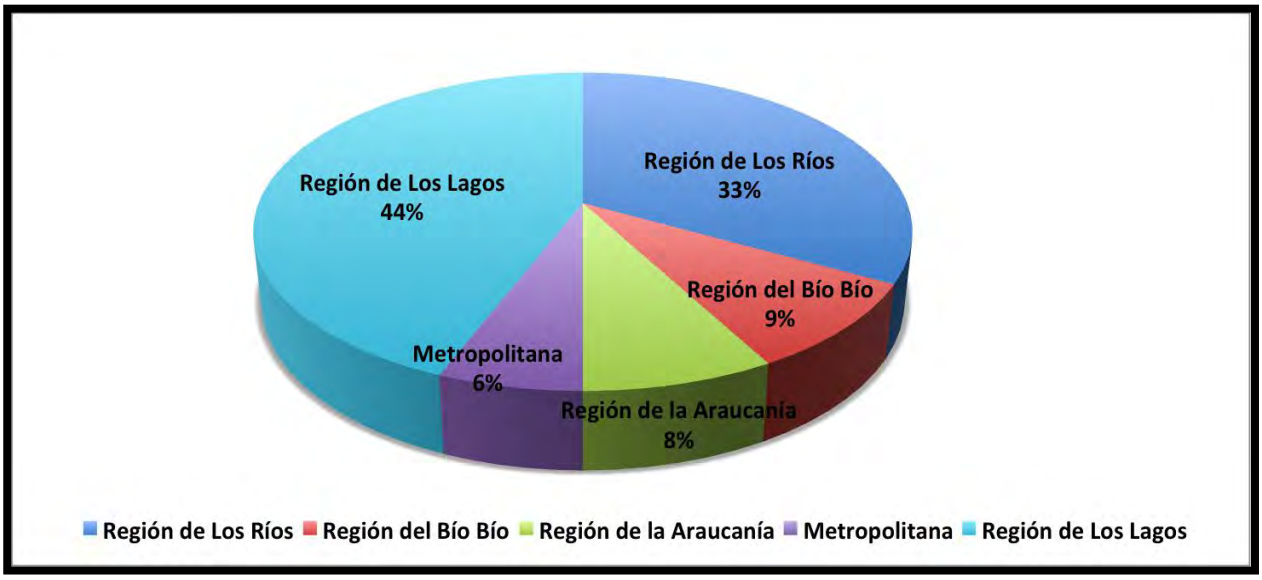
Fuente: Elaboración propia con datos del Boletín Lechero (ODEPA, 2016).

Dos productos destinados a mercado interno y exportación presentaron un aumento en su elaboración: la leche condensada, que recuperó un nivel cercano al máximo de 2012 y que subió 6,4%; y el manjar (4,3%), producto que ha venido creciendo en forma sostenida en los últimos años y que en 2015 alcanzó un nuevo máximo. La producción de queso prácticamente se mantuvo, pero con ello se convirtió en el producto lácteo más importante conforme a la utilización de leche en su producción.

Los otros dos productos importantes, destinados al mercado interno: leche fluida y yogur, crecieron en un porcentaje similar al del aumento de la población. El peso de la baja en la producción de leche en 2015 recayó en la leche en polvo, producto cuya exportación bajó fuertemente y que fue complementado internamente con importaciones que crecieron más de 70% en el año.

La participación de las empresas del rubro lácteo se concentra en la zona sur del país, lo cual es consistente con las cifras de ganado bovino lechero presentadas (Consorcio Lechero, 2015). Las regiones donde más se recepciona leche fluida son Región de los Lagos; Región de los Ríos; Región del Bío Bío; Región de la Araucanía; y Región Metropolitana (Imagen 2). La participación de las industrias lecheras en el mercado global de productos lácteos varía según el producto de interés (Anexo 1).

Imagen 2. Recepción de leche por regiones (% de litros recibidos).



Fuente: Boletín Lechero, ODEPA (2016).

Existen grandes empresas vinculadas al rubro lechero que por su alto grado de participación en el mercado nacional podrían presentar a futuro buenas oportunidades de incursionar en la industria del biogás. Entre ellas podemos indicar a:

- **Colún:** es la Cooperativa Agrícola y Lechera de La Unión Limitada, corresponde al 2° mayor exportador de lácteos del país y procesa diariamente alrededor de 1,7 millones de litros de leche. Es una cooperativa con alrededor de 760 productores de leche que manejan una masa ganadera que va desde las 10 a 1.000 cabezas de ganado (por cada productor), posee una administración interesada en ejecutar proyectos de tratamiento de los residuos líquidos industriales (Riles) de su planta. Su intención es preparase en temas relacionados al manejo de residuos para cuando las nuevas normativas exijan un mejor desempeño ambiental. A la fecha de elaboración de este documento no cuenta con proyectos específicos sobre manejo de purines y/o generación de biogás en los predios de sus productores. Su sitio web es: http://www.colun.cl/.

- **Soprole:** empresa fundada en 1949 por un grupo de productores de leche de la zona central. Posee tres plantas productivas ubicadas en Santiago, Los Lagos y Osorno en las que trabajan 2.000 personas. Soprole como parte de su programa de responsabilidad social posee un el "plan de manejo integral ambiental" orientado al tratamiento de residuos sólidos industriales (Rises), Riles y emisiones atmosféricas. Este plan permitió que la empresa caracterice y cuantifique los residuos generados, implementando una planta para los Riles y un programa de declaración de emisiones atmosféricas. Los Riles son tratados utilizando biofiltros anaeróbicos con tecnología adquirida con una inversión de US$13

millones. Esto permitió disminuir sus efluentes y aprovechar el suero sobrante de la elaboración de queso para transformarlo en materia prima láctea exportable que es utilizada en la industria alimenticia. Gracias a los biofiltros el efluente se transforma en humus y agua sin emisión de olores. A la fecha aún no cuentan con proyectos asociados al tema de generación de biogás. Su sitio web es: http://www.soprole.cl/.

- **Nestlé:** es una sociedad suiza que nació en 1866 de la fusión entre Anglo-Swiss Condensed Milk Company y Henri Nestlé, y existe en Chile desde 1934. Es una empresa que cuenta con alrededor de 1.100 proveedores de las zonas de Llanquihue, Osorno y Los Ángeles; abasteciendo desde 20 M L/año hasta 5.000 M L/año por productor. Esta sociedad perteneciente al conglomerado suizo de igual nombre tiene en México biodigestores que trabajan con purines (a escalas de 5.000 vacas promedio). En Chile aun aún no cuentan con proyectos en el tema biogás. Su sitio web es: http://www.nestle.cl/.

- **Watt's:** es una empresa fundada en 1930 que cuenta con diversidad de marcas y amplia variedad de productos. En la actualidad, además del mercado nacional, exporta a más de 30 mercados internacionales. Posee cinco plantas productivas, ocho oficinas de ventas a lo largo de todo el país, cinco centros de distribución, una filial en Perú y una oficina comercial en China, otorgando empleo a más de 1.900 trabajadores. La empresa busca hacer un uso eficiente y responsable de los recursos naturales y energéticos para asegurar el cuidado del medio ambiente y garantizar la viabilidad del negocio a largo plazo. Es por eso que la empresa tiene un plan de gestión medioambiental preventiva que busca minimizar los impactos negativos de la actividad productiva, reduciendo la contaminación ambiental y disminuyendo los riesgos que conlleva el manejo de residuos, cumpliendo como mínimo lo establecido por la normativa ambiental vigente. Según su último reporte de gestión medioambiental 2015 el índice de recuperación de residuos sólidos de la empresa alcanzó un 77%, aumentó su eficiencia energética en un 1% y cuenta con un proyecto para la optimización en la gestión de Riles, sin embargo, aún no implementan acciones relacionadas con el tema biogás. Su sitio web es: http://www.watts.cl/.

- **Manuka:** es el nombre de una planta existente en Australia y Nueva Zelandia, y es la mayor productora de leche del país, siendo propiedad de inversionistas neozelandeses. Está en el país desde el año 2005 y produce leche sólo en primavera-verano (sistema estacional). Comenzó manejando 180 hectáreas y hoy cuentan con 22.500 hectáreas en las Regiones de Los Lagos y de Los Ríos. La firma tiene activos cercanos a MM$400 USD, y cuenta con alrededor de 50 lecherías y 340 empleados. Su masa ganadera actual alcanza a las 26.000 vacas, con una producción cercana a 120 millones de litros y proyectando llegar a 43.000 cabezas el 2019, con lo cual alcanzaría una producción de 220 a 240 millones de litros al año. A la fecha la empresa no presenta mayor interés en invertir en producción de biogás en base a purines, ya que estos últimos lo aplican como fertilizantes a la pradera. Su limitado interés en el tema de biogás también está ligado a que no existen incentivos, ni normativa a nivel nacional, que regule esta actividad, además porque en análisis preliminares determinaron que la incidencia del consumo térmico y eléctrico en su estructura de costos es marginal, por lo que no se justifica el implementar un sistema de

generación de energía en su modelo de negocios. Su sitio web es: http://www.manuka.cl/natures-excellence/.

- **Agrícola Ancali Limitada (Holding Bethia):** es una sociedad agrícola, ganadera y lechera ubicada en la región del Bio Bío. Actualmente posee una de las lecherías más grandes e importantes de Sudamérica y es el segundo mayor productor de leche del país con una masa ganadera actual de 6.500 vacas, proyectando aumentar su masa ganadera a 10.000 vacas en un plazo de 4 años. Su planta lechera posee capacidad de ordeñar simultáneamente toda su masa lechera. En el 2013 la sociedad inauguró una planta para generación de biogás, lo que significó una inversión de MMS$ 11 USD. Con esta inversión se esperaba reducir al máximo el impacto ambiental y social de sus operaciones, proyectando generar 28.800 kW/día en forma continua e inyectarlo al Sistema Interconectado Central (SIC) una vez que esté en plena operación, lo que se ha dificultado debido a problemas técnicos. Vale resaltar que por su tamaño y ubicación no son parte del foco del programa GEF Biogás, sin embargo, su experiencia en el ámbito de la biodigestión puede ser valiosa para otras empresas vinculadas al rubro. Su sitio web es: http://www.ancali.cl/.

2.2 Producción y manejo de purines en predios lecheros del sur de Chile

La producción y manejo de purines en predios lecheros del sur de Chile, específicamente en las Regiones de Los Ríos y de Los Lagos, es un componente fundamental del sistema de producción, dado los grandes volúmenes generados. Un estudio realizado por Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), Centro Regional de Investigación Remehue en lecherías de las regiones en estudio permitió estimar que la producción promedio de purines es de 105 litros purín/vaca/día, con un rango que fluctúa entre los 34 a 260 litros purín/vaca/día, con variaciones debido a factores como raza del animal, manejo predial, alimentación, grado de confinamiento, entre otros (Salazar et al., 2003).

Es importante resaltar el bajo contenido de materia seca de los purines del sur de Chile, que de acuerdo a información publicada por INIA promedian solo un 3,9% (en un rango de 0,2 - 13,7), con casi el 50% de los purines evaluados no superando el 2% (Salazar et al., 2007). El bajo contenido de materia seca de los purines del territorio puede ser explicado por el gran volumen de agua de lavado de estructuras, equipos, instalaciones y patios, que junto al agua lluvia entran, directa o indirectamente, al pozo purinero (Salazar, 2012). Estos bajos contenidos de materia seca en los purines de lechería son característicos de sistemas de producción basados en pradera, donde los animales permanecen la mayor parte del tiempo. Al respecto, valores similares y aún más bajos de materia seca en purines han sido reportados en otros sistemas pastoriles de Argentina, Uruguay, Nueva Zelanda y Australia,

Para aumentar el contenido de materia seca se requieren buenas prácticas para reducir la entrada tanto de aguas limpias como de lavado al pozo purinero. Para ello es posible implementar equipos y tecnologías para mejorar la eficiencia de uso de agua (ej. hidrolavadoras de alta presión, llaves

de corte automático, raspadores, etc), además de cambios culturales en el manejo de los recursos hídricos del predio. Todo lo anterior con el fin de disminuir la cantidad de agua que entra al pozo y aumentar así la proporción de fecas y orina en los efluentes generados. Al respecto Salazar et al. (2003) reporta que el 46% del volumen total de los efluentes producidos en los predios lecheros del sur de Chile está constituido por agua lluvia, un 29% por aguas sucias (o aguas de lavado) y sólo el 25% por fecas y orina de los animales en ordeña.

La reutilización adecuada de los purines generados los convierte en una fuente de nutrientes y materia orgánica que puede emplearse como complemento a la fertilización mineral de cultivos y praderas, reduciendo los costos de producción. Sin embrago es importante resaltar que no todos los desechos animales excretados, ni los purines generados, pueden recolectarse o almacenarse, ya que parte de estos queda en las praderas durante el pastoreo de las vacas lecheras.

Para un manejo adecuado de los purines se requiere capacidad de almacenamiento en pozos purineros y/o infraestructuras adecuadas para su contención. Las Buenas Prácticas Agrícolas (BPA) recomiendan la impermeabilización de los pozos a fin de minimizar el riego de percolación del purín a cuerpos de agua subterráneos, existiendo distintos materiales para ello como el policloruro de vinilo (PVC), polietileno de alta densidad (PEAD), hormigón o pozos impermeabilizados con arcillas.

La utilización de purines en praderas y cultivos es una práctica común en los ganaderos de la zona, lo que permite reciclar los nutrientes y reducir con ello la compra de fertilizantes inorgánicos comerciales. Las dosis adecuadas deben calcularse tomando en cuenta el aporte del suelo, rotación previa de cultivos y el desbalance de nutrientes propio de este tipo de residuos orgánicos, ya que los porcentajes solubles de N, P y potasio (K) varían ampliamente. Los purines deben distribuirse cuando los cultivos o praderas se encuentren en crecimiento activo, lo que sucede principalmente en época de primavera (Salazar, 2012).

En Chile casi la totalidad de las aplicaciones de purín se realizan con equipos de aplicación en superficie por aspersión, principalmente sobre praderas y también en cultivos como maíz y nabos forrajeros. Casi la totalidad de los purines son aplicados ‘crudos’ sin ningún tratamiento, no existiendo ninguna limitante legal para ello en el país.

Al valorizar el purín aplicado en base al aporte de nutrientes, comparándolos con fertilizantes comerciales equivalentes como urea, superfosfato triple y muriato de potasio, dependiendo de su contenido de materia seca y por ende contenido de nutrientes, 1.000 litros de purín equivalen entre $1.500 y $3.300.

El mayor volumen de recolección de desechos animales y el almacenamiento adecuado de los purines en los planteles lecheros facilitaría la implementación de sistemas de digestión anaeróbica, ya que ayudaría en la rápida caracterización de los mismos y por ende en la estimación de la cantidad de biogás a producir (ODEPA, 2009). Según la literatura internacional los procesos de digestión anaeróbica pueden disminuir la carga contaminante de los efluentes de lechería (ej. DQO), lo que coincide con la información generada en el biodigestor piloto de INIA Remehue (datos sin publicar).

2.3 Otros actores relevantes de la cadena de producción del biogás en Chile

Estos incluyen integrantes del sector público, privado, organismos de fomento o financiamiento, fiscalización, empresas de ingeniería asociadas al biogás y centros de formación e investigación (Tabla 9).

Tabla 9. Principales actores identificados relacionados con la producción del biogás a partir de residuos agropecuarios.

MINISTERIOS DE ENERGÍA, AGRICULTURA Y MEDIO AMBIENTE				
Sector agropecuario	**Fomento/ financiamiento**	**Normativa y fiscalización**	**Principales empresas de ingeniería relacionadas con el biogás**	**Formación e investigación**
Consorcio Lechero	CIFES	SEC	Genera Austral	Universidades
FEDELECHE	CORFO	SISS	Schwager energy	Institutos de investigación
APROLECHES	CPL	INN	SK Ecología	Redes biogás
Plantas receptoras	FIA	SEA	Biotecsur	
Productores lecheros	Banca privada	SAG	Greenwatts	
Empresas de servicios agropecuarios	GOREs	CDEC	Ecodiseño	
	INDAP	SMA	AS&D Consultores	
	SERCOTEC	CNE	Biotamb	
	CONICYT		Metalglass	
			Otras	

Fuente: Actualización (2016) en base a informe CIFES (2012).

2.3.1 Resumen de los principales actores gubernamentales

- **Ministerio de Energía:** se encarga de desarrollar las políticas para el sector de energías sustentables. Sus principales acciones son revisar, analizar y fomentar el mercado eléctrico

creando relaciones entre privados y divulgando los proyectos y acontecimientos importantes. Por otro lado, también es el encargado de mantener relaciones con otras instituciones que se encargan de fiscalizar el cumplimiento de la ley, como por ejemplo la SEC. Entre las acciones desarrolladas se han otorgado fondos concursables cuyos proyectos ganadores han innovado en temas relacionados con el biogás (ej. Fondo de Acceso Energético, FAE). Su sitio web es: www.energia.gob.cl/energias-renovables.

- **Ministerio de agricultura:** es la institución del Estado encargada de fomentar, orientar y coordinar la actividad silvoagropecuaria del país. Su acción está encaminada a obtener el aumento de la producción nacional, la conservación, protección y acrecentamiento de los recursos naturales renovables y el mejoramiento de las condiciones de nutrición del pueblo chileno. Este Ministerio busca reducir la desigualdad social fortaleciendo y expandiendo el alcance de los instrumentos de fomento, prioritariamente en favor de la agricultura familiar y campesina, además de contribuir a la agregación de valor en la agricultura. Esto implica promover un desarrollo de la economía agraria basado tanto en la tecnología y la innovación, como en la profundización de los atributos que potencian la productividad y la competencia de la agricultura (calidad, inocuidad y sanidad de la producción silvoagropecuaria). En los programas que ejecutan los diversos servicios del agro (ej. INIA, INDAP, etc.) se han desarrollado iniciativas relacionadas a la producción del biogás las cuales serán detalladas más adelante. Su sitio web es: www.minagri.gob.cl/.

- **Ministerio del Medio Ambiente:** es el órgano del Estado encargado de diseñar y aplicar políticas, planes y programas en materia ambiental, así como en la protección y conservación de la diversidad biológica y de los recursos naturales renovables e hídricos, promoviendo el desarrollo sustentable, la integridad de la política ambiental y su regulación normativa. Este Ministerio a través del Departamento de Cambio Climático es el responsable de dar cumplimiento a la Ley de Bases del Medio Ambiente 19.300 que en su artículo N° 70 establece la obligatoriedad de proponer políticas y formular los planes, programas y planes de acción en materia de cambio climático. Por lo que el Departamento contribuye a la integración de la problemática asociada al tema en las políticas públicas del país con el fin de lograr un desarrollo sustentable y una economía baja en carbono ©. Este departamento es el encargado de la coordinación para la elaboración, publicación y comunicación de los inventarios de GEI en Chile. Su sitio web es: http://portal.mma.gob.cl/.

- **Centro nacional para la innovación y fomento de energías sustentables (CIFES):** Esta institución pasó de ser el Centro de energías renovables (CER) a CIFES en el año 2015, como parte de una política adoptada en la Agenda energética Chile 2020. La misión de CIFES es apoyar el diseño, implementación, seguimiento, evaluación y promoción de programas y proyectos estratégicos con financiamiento público referente a la innovación o fomento de energías sustentables. Si bien no posee aportes propios del estado para financiar proyectos, al haber sido parte de CORFO hasta el 2016 (entidad que posee fondos propios para la inversión de proyectos), ayudó en la gestión de proyectos para el fomento de las ERNC en Chile. A partir del 2016 parte de CIFES pasará a formar parte del Ministerio de

Energía, mientras que la parte que se enfocará directamente en la promoción de energía renovable solar permanecerá como comité CORFO. Su sitio web es: cifes.gob.cl/.

- **Corporación nacional de fomento (CORFO):** esta entidad busca mejorar la competitividad y la diversificación productiva del país a través del fomento a la inversión con fondos del estado. Con más de 70 años de funcionamiento CORFO es la principal institución gubernamental de financiamiento de proyectos y programas de toda índole industrial. Es por esto que CORFO en colaboración con CIFES gestionan proyectos relevantes en el ámbito de la generación de energía, incluyendo proyectos relacionados con el biogás. Su sitio web es: www.corfo.cl/inicio.

2.3.2 Principal actor relacionado con normativa y fiscalización de plantas de biogás en la actualidad

- **Superintendencia de Electricidad y Combustibles (SEC):** es una institución que se relaciona con el Gobierno por intermedio del Ministerio de Energía. La responsabilidad de la SEC se ejerce sobre uno de los mercados más dinámicos y de mayor crecimiento en Chile que es el mercado de la energía. La SEC está encargada de vigilar que las personas cuenten con productos y servicios seguros y de calidad, en los sistemas de electricidad y combustibles. La SEC tiene un reglamento de seguridad de instalaciones de biogás que establece los requisitos mínimos de seguridad que deberán cumplir las instalaciones de biogás cuya producción sea con fines energéticos. Además, cuenta con un procedimiento de registro de biodigestores a nivel nacional. Su sitio web es: www.sec.cl/.

2.3.3 Resumen de las principales instituciones privadas

En la actualidad existen 24 bancos establecidos y operando en el país (18 de ellos se consideran como bancos establecidos en Chile, cinco sucursales de bancos extranjeros y un banco estatal). A los anteriores se agrega el Banco Central de Chile (BCC). Todos los bancos señalados (con excepción del BCC) son sujetos a la supervisión de la Superintendencia de Bancos e instituciones financieras (SBIF).

En la actualidad Chile no cuenta con bancos de desarrollo y fomento. A fines de la década de los 70‘s y en la de los 80‘s, hubo varios intentos de funcionamiento de bancos de fomento e inversión, tales como el Banco Hipotecario y de Fomento (BHC); Banco Unido de Fomento (BUF); Banco de Fomento de Valparaíso (BFV), entre otros. Todos los intentos fueron infructuosos debido a la cartera relacionada. Hasta 1989 funcionó en Chile la CORFO como un banco inversor de primer piso para atender las necesidades de financiamiento de las pequeñas y medianas empresas (Pymes) que realizaran inversiones a mediano y largo plazo. En la fecha indicada finalizó la atención crediticia motivada por la alta cartera contaminada (créditos impagos, riesgosos, morosos, etc.) y por la incursión de organismos financieros internacionales (ej. BID, BIRF, KFW, etc.).

A raíz de lo anterior la cartera crediticia se licitó a los bancos y se sustituyó el otorgamiento directo de préstamos por la intermediación financiera. Posteriormente se separó de la institución la tarea

de administración de empresas públicas creándose un comité autónomo con los objetivos técnicos, organizacionales, presupuestarios y de manejo de relaciones institucionales independiente. Las transformaciones permitieron que CORFO realice su actual misión que es el fomento productivo.

En la parte privada siete bancos han financiado proyectos vinculados a la generación de energía renovable (principalmente tecnología eólica y centrales mini-hidroeléctricas). Estas son las instituciones financieras que desarrollan/ o han desarrollado operaciones concretas relacionadas con las ERNC:

- **Banco Bice:** esta institución apoya el desarrollo de proyectos sustentables, con visión a largo plazo. En 2013, Banco BICE recibió un importante aporte de US $75 millones de la Corporación Financiera Internacional (IFC) para seguir con la labor de apoyo al desarrollo de proyectos de energía limpia. A través de esta línea de crédito se podrá expandir el financiamiento a largo plazo de proyectos de ERNC en Chile. Esta institución ha financiado principalmente centrales hidroeléctricas de pequeña escala, informando a la fecha más de 20 proyectos con capacidad instalada de aproximadamente 180 MW por más de MMUS$ 300 de financiamiento. En la generación de biogás financió el proyecto KDM en Lomas Los Colorados. Su página web es: www.bice.cl.

- **Banco Consorcio:** es una institución que ofrece una variedad de servicios financieros que permiten a los clientes el financiamiento para el desarrollo del potencial productivo. La IFC, miembro del Grupo del Banco Mundial, suscribió un acuerdo con el banco para otorgarle un préstamo por US$60 millones destinados al financiamiento de proyectos de ERNC en Chile, las que pueden incluir pequeñas centrales de energía hidroeléctrica, centrales solares, geotérmicas, eólicas y biomásicas. Su página web es: www.bancoconsorcio.cl/.

- **Banco de Chile:** es una sociedad anónima bancaria establecida en 1893 gracias a la fusión del Banco de Valparaíso, Banco Nacional de Chile y Banco Agrícola de Chile. Durante el 2014, la empresa implementó acciones para lograr la reducción en el consumo energético y de emisiones de CO_2. Las acciones de uso eficiente de energía permitieron a la empresa reducir 2,8 millones de KWh a nivel nacional. Adicionalmente en 2014 se reciclaron 153 toneladas de papel lo que equivale a 153 toneladas de carbono equivalente (MTCE). El banco ha financiado centrales mini hidroeléctricas, de biomasa y generación de energía en vertederos. Su página web es: www.bancochile.cl.

- **Banco Santander (Grupo Santander):** es una empresa que está presente en Chile desde 1978 y se especializa en negocios financieros, innovación en productos, riesgos y una activa participación en el mercado local. El banco cuenta con un comité de sostenibilidad que se encarga de proponer la estrategia de sostenibilidad y las políticas generales y sectoriales de la empresa en esa materia, así como los mecanismos necesarios para el análisis de riesgos sociales y ambientales en la decisión de operaciones de financiación de proyectos. Además, tiene un comité de cambio climático que identifica los riesgos y oportunidades de negocio en esta materia. El banco ha financiado una serie de proyectos eólicos, solares e hidroeléctricos. Su página web es: www.santander.cl.

- **Banco Bilbao Vizcaya Argentaria (BBVA):** es uno de los bancos más importantes en el mercado español, donde nació hace más de 150 años. Además, cuenta con una franquicia líder en América del Sur, con presencia financiera en México, Estados Unidos, China y Turquía. BBVA emplea a 109.000 personas, tiene más de 50 millones de clientes y más de 900.000 accionistas. El grupo estableció un Plan Global de Ecoeficiencia donde se comprometió a reducir sus emisiones de CO_2 en un 20%, del 10% de papel, del 7% de agua y del 2% de electricidad en 2012. El plan buscó minimizar los impactos ambientales directos del grupo. En la financiación de proyectos, especialmente los de infraestructuras, energía, explotación de recursos minerales o forestales sigue políticas de riesgos internacionales y principios para una inversión responsable. En este sentido esta institución ha financiado proyectos eólicos a nivel mundial. Su página web es: www.bbva.cl.

- **Coöperatieve Centrale Raiffeisen-Boerenleenbank B.A. (Rabobank):** es una institución que nació de la creación de una cooperativa de agricultores hace más de un siglo, con foco en el sector de alimentos y la agroindustria. El banco ofrece una amplia gama de servicios que incluyen a productores primarios que buscan créditos para cultivos, grandes productores que requiere cubrir los riesgos de comodities y procesadores que buscan expansión internacional. La empresa busca establecerse como un socio financiero en la cadena de valor mundial de la industria agroalimenticia, siendo ambiental, social y financieramente responsable al hacer negocios. Este banco se interesa en financiar principalmente proyectos eólicos y solares. Su página web es: www.rabobank.cl.

- **DNB:** es el mayor grupo de servicios financieros de Noruega y uno de los más grandes de la región nórdica. Ofrece una gama completa de servicios financieros, incluyendo los préstamos, ahorros, servicios de asesoramiento, productos de seguros y de pensiones para particulares y empresas. Tiene alrededor de 70 agentes bancarios con experiencia en la industria y banca en ciudades como Houston, Londres, Nueva York, Santiago de Chile, Singapur y Estocolmo. Tiene una división de energía que ofrece una gama completa de servicios financieros en el petróleo, gas y ERNC. Además tiene especial interés en la industria de la energía renovable, ya que por su enfoque global les interesa la disminución emisiones de C. Entre las ERNC tienen un énfasis en la generación hidráulica, eólica y energía solar. Su página web es: www.dnb.no.

También existen en Chile otras instituciones financieras que han facilitado la implementación de sistemas relacionados con energías renovables. A la fecha principalmente se han desarrollado proyectos mini hidroeléctricos y de energía eólica, con muy poco o nulo financiamiento para otras tecnologías como la producción de biogás. A pesar del leve aumento de la oferta de tecnologías de biogás presentes en Chile en los últimos años, aun no se reducen las barreras de entrada para la obtención de créditos financieros, siendo la principal barrera para obtener este financiamiento la calidad de los proyectos y el alto riesgo asociado a la generación de ERNC.

Por otra parte, existen firmas de capital que también pueden ser importantes desde el punto de vista de inversión en proyectos de ERNC, por ejemplo:

- **Austral Capital:** cuenta con presencia local en Chile, Colombia y Perú, teniendo acceso privilegiado a oportunidades locales de cada uno de los mercados a través de un grupo de profesionales con conocimientos, capacidad técnica y experiencia en inversiones en la región. Tiene distintos fondos entre los cuales se encuentra uno energético a través del cual desarrolla e invierte en proyectos de energía renovable incluyendo plantas solares, biogás y biomasa entre otras. Actualmente administra el Fondo Waste to Energy. Su página web es: http://www.australcap.com/

- **D'e Capital:** son gestores con experiencia en el desarrollo de proyectos relacionados con las energías renovables, principalmente solares e hidráulicos. La empresa tiene experiencia en todas las etapas de desarrollo y construcción de proyectos de generación eléctrica, tanto en evaluación, diseño, licitación e inspección y montaje de equipos y construcción de obras civiles como también en la obtención de financiamiento bancario y con agencias multilaterales. Cuentan con 20 proyectos por 2.500 MW los cuales han sido desarrollados a partir de 1986. Su página web es: http://www.decapital.cl/

- **Gerens Capital S.A.:** en una empresa que desde el 2001 trabaja con fondos de inversión privados destinados a capital de riesgo, desarrollo inmobiliario y capital de trabajo para las Pymes. La empresa cuenta con cuatro fondos de inversión y además con una unidad de estudios denominada Gerens Economía, Finanzas y Gestión S.A. la que provee servicios de asesoría, administración y evaluación a los fondos administrados por Gerens Capital. Su página web es: http://www.gerenscapital.cl/

- **SCL Energía:** es una empresa que a partir de 2007 administra fondos de inversión en el sector energía. Desde ese año los socios de SCL Energía comenzaron el proceso de identificación de proyectos y oportunidades de inversión para el fondo de inversión que tenía proyectado desarrollar en conjunto con Activa, brazo de capital privado de LarrainVial. Así nació SCL Energía Activa S.A. que se dedica a la administración de fondos de inversión. Su página web es: http://www.sclenergia.cl/espanol/inicio

- **BTG Pactual Chile:** es una institución financiera y administradora de activos que cuenta con capital similar a los bancos de inversión global. Desde la fusión entre Celfin Capital y BTG Pactual en el 2012 buscan expandir el portafolio de productos de crédito y derivados a nivel nacional. Su página web es: www.btgpactual.cl/

Para productores agropecuarios interesados en desarrollar proyectos relacionados con las ERNC la banca les solicita información clara y precisa para acreditar la seguridad de la inversión en sus instalaciones y/u operaciones. En este contexto un pequeño o mediano productor pecuario individual es un sujeto de crédito poco atractivo, por lo que idealmente deberá respaldarse con alguna institución financiera de fondos de riesgo o de inversión. Al presentar un proyecto se puede exigir al productor poseer documentos e información que acredite su situación económica a fin de estimar las condiciones de pago.

Para la banca tanto el poseedor de tecnología como quien se hace cargo de la operación y mantención de la misma son importantes, por lo que las entidades financieras buscaran asegurar la producción sostenible del biogás en el tiempo. Para ello es posible que la banca solicite la participación de un tercero con respaldo financiero que se haga cargo de los compromisos adquiridos si el proyecto no genera la energía comprometida.

La parte de la banca nacional que estaría en condiciones de financiar proyectos de generación de biogás podría conceder recursos solo si la calidad del proyecto presentado garantiza su éxito. Se debe tener en cuenta que cualquier proyecto presentado debe cumplir con la legislación existente que se relaciona con la implementación y operación de instalaciones de gas. En este sentido, en el proyecto presentado debe quedar claro si éste se trata de un proyecto para la generación de biogás que será transformado en energía eléctrica o térmica, o bien si se enfoca en disminuir costos de producción o si la energía generada se va a negociar con algún distribuidor de energía.

Existe limitada información pública sobre el apoyo de la banca a proyectos de generación de biogás. Sólo algunas instituciones bancarias indican claramente que apoyan proyectos de ERNC, y específicamente para el sector agrícola hay muy pocos que cuentan con atención especializada a este rubro productivo. Dos ejemplos de bancos que han apoyado financieramente en la implementación de proyectos relacionados con las ERNC son: a) el Banco BICE, el cual cuenta hace más de 6 años con un área especializada en financiamiento de proyectos de generación y transmisión de ERNC con una cartera de más de 20 proyectos y cerca de 200 MW de capacidad instalada; b) el Banco Consorcio que tiene financiamiento a largo plazo para el desarrollo de tecnologías energéticas comercialmente viables, y de las relacionadas con la ampliación/diversificación de la matriz energética nacional.

Finalmente, la base de datos de proyectos de inversión en energía de la Sociedad de Fomento Fabril (SOFOFA) indica que de materializarse en su totalidad los proyectos asociados a la generación de energía eléctrica se prevé inyectar 35.413 Megawatts (MW) de potencia bruta a la matriz energética del país. Esta capacidad de generación se distribuye en centrales de tipo “Solar-PV” (con 13.919 MW), “Eólicas” (7.348 MW), “Solar-CSP” (1.650 MW), “Termo-Carbón” (3.060 MW), “Termo-Ciclo Combinado” (4.620 MW), “Hidro-Pasada” (1.814 MW), “Otras” fuentes tales como Geotermia, Biomasa y Biogás (1.637 MW) e “Hidro-Embalse” (1.364 MW) (SOFOFA, 2016).

2.3.4 Principales empresas oferentes de tecnología relacionadas con la generación de biogás

Para la identificación y caracterización de las principales empresas proveedoras de equipamiento, diseño, construcción y servicios de mantención de plantas de biogás en Chile se revisaron distintas fuentes de información y bases de datos, por ejemplo ej. directorio “Quién en Quién” (Induambiente, 2016) y el portal de la Red Biogás Chile (página web: www.redbiogas.cl).

Con estas bases de datos se realizó un primer filtro a más de 215 empresas en base a sus sitios web, quedando para un segundo análisis un total de 44 empresas, las que en su mayoría han sido contactadas (sin embargo, no todas respondieron). Quedando un total de 18 empresas en Chile que

se vinculan al biogás. Es importante señalar que algunas empresas, si bien indican que no prestan servicios actualmente en el tema de biogás, señalan que si cuentan con las capacidades y/o experiencias antiguas relacionadas a la temática.

Al año 2016 varios proyectos relacionados con la generación de biogás han implementados en Chile, principalmente los desarrollados por las empresas Schwager Energy, Kaiser energía (empresa que ya no existe y cuyos trabajos son de Sigdo Koopers), Genera-Austral, y Biotecsur, los cuales involucran generación de energía eléctrica y/o térmica a partir del biogás producido. Junto con ellos, otras empresas como GreenWatts intentan incursionar en el mercado con tecnología europea, Ecodiseño ofrece implementación de proyectos de innovación y tecnología sostenible en materia de biogás con materiales importados de Costa Rica, y Metal Glass propone soluciones energéticas a pequeña escala. Por lo demás, también existen empresas que, si bien no poseen plantas de biogás implementadas en la actualidad, ofrecen servicios de fabricación, venta, operación y asesoría en biodigestores.

A continuación, se presenta una breve descripción de las principales empresas oferentes de equipos y tecnologías relacionadas con el biogás:

- **Schwager energy:** es una empresa enfocada principalmente al manejo de Riles y sueros de quesería a través de digestión anaeróbica. Actualmente la empresa posee 3 proyectos en la Región de Los Lagos, específicamente en las localidades de Purranque, Osorno y Puerto Octay. De los proyectos mencionados, el implementado con la filial L&E en Purranque (Imagen 3), se encuentra actualmente en funcionamiento y posee una capacidad de generación de energía eléctrica de 1 MW, el que es utilizado para auto abastecimiento. La planta de Puerto Octay se encuentra igualmente operativa y combustiona el gas para obtener energía térmica, sin embargo, no está habilitada para la generación de energía eléctrica. Finalmente, la planta de Osorno terminó su etapa de construcción y está en proceso de puesta en marcha. Schwager Energy contrata la construcción de las obras civiles de sus plantas a empresas nacionales, mientras que algunos elementos principales de la planta son importados de otros países como Austria y Estados Unidos. Además, se caracterizan por poseer un alto estándar tecnológico en los sistemas de control, a través del sistema SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition). Su sitio web es: www.schwager.cl.

- **SK Ecología S.A:** corresponde a una empresa de servicios de ingeniería ambiental, que tiene por objetivo ofrecer soluciones tecnológicas y servicios profesionales integrales, entre ellos, entregar asesoría en la división de Energía Renovables. La empresa ofrece los servicios de formulación y evaluación de proyectos de energías renovables como biogás, biomasa, energía solar, térmica, fotovoltaica y eólica. Además, presta servicios en cuanto a ingeniería, diseño, ejecución y montaje, puesta en marcha de proyectos y suministro de equipos sobre la base de energías renovables no convencionales. Actualmente, SK Ecología corresponde a una empresa de Sigdo Koppers S.A. Su sitio web es: www.ske.cl. Parte del equipo gerencial de la desaparecida empresa Kaiser energía, que fue una empresa de asesoría y consultoría para el área de bioenergía, labora actualmente en SK Ecología S.A. Como empresa, Kaiser energía participó en el desarrollo de proyectos de biogás a

nivel nacional, adjudicándose varios proyectos en Chile como el de la empresa HBS energía S.A (Imagen 4) y biodigestores construidos con fondos de la Fundación para la Innovación Agraria (FIA).

Imagen 3. Planta de biodigestión de residuos L&E en Purranque, Región de los Lagos.

Fuente: www.schwager.cl (consultado en marzo del 2016).

- **Genera-Austral:** los proyectos de esta empresa se orientan a la generación de energía eléctrica para inyección a la red. Actualmente los proyectos en funcionamiento inyectan en total 1,2 MW divididos en tres plantas. La tecnología implementada por dicha empresa consta principalmente de digestores de mezcla completa (Imagen 5). Para el desarrollo y construcción de plantas de biogás trabajan con 2 empresas locales de montaje técnico y 3 de montaje civil. Al igual que la empresa antes mencionada utiliza tecnología alemana. Su sitio web es: www.genera-austral.com.

Imagen 4. Planta de biodigestión HBS, Los Ángeles, Región del Bío Bío

Fuente:

www.kaiserenergia.com (consultado en marzo del 2016).

Imagen 5. Planta de biodigestión las Palmas, Pichidegua, Región del Libertador General Bernardo O'Higgins

Fuente:

www.genera-austral.com (consultado en marzo del 2016).

- **BIOTECSUR:** la empresa fue creada en el 2008 y partió con la creación de biodigestores del tipo domiciliario. En la actualidad construye biodigestores en escalas variables, obteniendo buenos resultados en predios con existencias bovinas menores a 200 vacas, en

donde se han podido generar energía eléctrica para abastecer parte de los procesos de ordeña de la lechería. Entre el periodo de 2008 y 2016 han desarrollado 23 proyectos de plantas de biogás, la gran mayoría situados en la Región de Los Lagos (Imagen 6). Las tecnologías implementadas son de laguna cubierta y de manga plástica. En la fabricación de biodigestores utilizan un material especial denominado Geomembrana EPDM con certificación de Firestone. Además, esta empresa adaptó motores de energía eléctrica para el funcionamiento original con bencina a motores adaptados para biogás. Su sitio web es: http://biotecsur.cl/.

Imagen 6. Planta de biodigestión del Fundo El Ánima, Purranque, Región de los Lagos

Fuente: http://biotecsur.cl/ (consultado en marzo del 2016).

- **Greenwatts:** es una empresa belga especializada en la transformación de residuos orgánicos en energía renovable. Su oferta consta de una tecnología original de biodigestión multi-etapas, la venta de digestores de alto rendimiento, la adaptación de proyectos a distintos tipos de sustratos para garantizar al cliente una producción de gas estable en el tiempo (Imagen 7). Además, Greenwatts asesora todas las etapas del proyecto, desde una fase de estudio y diseño hasta la puesta en marcha. Actualmente esta empresa se encuentra presente en 4 países en el mundo: Francia, Bélgica, Marruecos y Chile. De momento Greenwatt no posee ningún proyecto completamente en funcionamiento en Chile, sin embargo, durante el 2016 colabora con INIA en la implementación de una planta modular para el estudio de biogás generado a partir de purín bovino lechero y otros sustratos orgánicos. Su sitio web es: www.greenwatt.cl.

Imagen 7. Equipos de biodigestión ofrecidos por Greenwatts

Fuente: www.greenwatt.cl (consultado en marzo del 2016).

- **Ecodiseño:** es una empresa chilena especialista en innovación, capacitación y asesoría en diseño ecológico. Cuenta con más de 20 años de experiencia en ingeniería considerando criterios de sustentabilidad ambiental. Actualmente ofrece la construcción de biodigestores ecodiseñados de pequeña escala y operación continua en una amplia gama de tamaños y sin la utilización de energía eléctrica adicional. Dentro de las características de sus diseños se encuentran sistema de aislación externa para operación en climas fríos mediante invernaderos, filtrado de carga con tamiz estático y la posibilidad de monitoreo de parámetros de operación. Además, la empresa ofrece servicios de asesoría de puesta en marcha y mantención de plantas de biodigestión a nivel nacional. Esta empresa fue la encargada de implementar el biodigestor demostrativo que se encuentra en INIA-Remehue (Imagen 8) que tiene una capacidad líquida total de de 8 m^3 y la capacidad de producir nominalmente 3 m^3 de biogás al día bajo condiciones óptimas. Este digestor se encuentra en fase de puesta en marcha. Su sitio web es: www.ecodiseno.cl.

Imagen 8. Planta de digestión anaeróbica de INIA Remehue, Osorno, Región de Los Lagos.

Fuente: INIA-Remehue (2016).

- **AS&D Consultores EIRL:** es una empresa chilena nacida en el 2004 que ofrece servicios de ingeniería y fabricación de equipos chilenos para generación de biogás. Esta empresa importa equipamiento desde Francia, Canadá, USA e India. Brinda capacitación y asesorías para plantas de biogás, redes de biogás para rellenos sanitarios, instalaciones para procesos anaeróbicos de plantas de tratamiento de aguas servidas y Riles, plantas térmicas, estación de quema y otros equipos (ej. calefactores, condensadores, trampas de humedad, antorchas, sopladores, compresores, gasómetros, analizadores biogás, trampa de condensados, purga de condensados, válvulas de alivio y sistemas de mezcla para digestores). Su página web es: www.asdconsultores.cl.

También existen empresas proveedoras de diversos servicios relacionados con el biogás. Estos servicios incluyen asesorías, estudios de factibilidad, venta de equipos, entre otros. La siguiente tabla resume la información más relevante acerca de estas empresas:

Tabla 10. Otras empresas proveedoras de servicios o equipos asociados al tema biogás

Empresa	Descripción
Biotamb S.A.	Es una empresa de ingeniería ambiental enfocada al diseño, construcción, puesta en marcha y operación de plantas de tratamiento de aguas residuales. En relación al biogás, la empresa comercializa biodigestores para el tratamiento de Riles, los cuales corresponden a reactores diseñados por ellos mismos y/o proveídos por empresas extranjeras. También ofrece la instalación de generadores para biogás, con un rango de generación entre los 70 kW y los 2000 kW, además de la operación, capacitación y mantención de plantas de biogás implementadas por ellos mismos. Su página web es: www.biotamb.cl
Metal Glass	La empresa ofrece la fabricación e instalación de biodigestores de uso domiciliario (Imagen 20), con una tecnología a base de fibra de vidrio como solución para las bajas temperaturas del país. Se encarga de la operación, monitoreo y mantenimiento de reactores desde el 2008. Posee biodigestores operativos en las localidades de Vilcún, Traiguén, Máfil, Temuco y San José de la Mariquina. Su página web es: www.metalglass.cl
Agroorgánicos Mostazal Ltda.	Es una empresa que desarrolla procesos, productos y servicios con una visión productiva social y ambientalmente sustentable. Cuenta con un equipo de trabajo conformado por profesionales y técnicos especializados en el rubro silvoagropecuario, medioambiental y agroindustria, quienes realizan el manejo integral de residuos orgánicos, considerando la recolección, transporte, manejo y disposición final de éstos. Además, la empresa elabora abonos naturales para uso en agricultura orgánica y convencional. Se encuentra desarrollando su primera planta de energías renovables en la comuna de San Francisco de Mostazal. Su página web es: www.agromostazal.cl.
Ingesagro	Es una empresa chilena altamente especializada en el campo de los estudios técnicos – económicos del sector energético, diseño, administración, gestión y construcción de proyectos que tienen por finalidad la generación, transmisión, distribución y consumo eficiente y sustentable de energía eléctrica. Algunos de los proyectos desarrollados incluyen: Agrícola Ancali (central de biogás de 2 MW) y centrales minihidroeléctricas sobre 1 MW (ej. Los Padres, El Agrio, Pintoresco y Doña Hilda). Su página web es: www.ingesagro.cl
Deuman	Es una empresa consultora con más de 20 años trabajando en temas como sostenibilidad, energía y cambio climático. Ha realizado acciones en el sector energético, financiero, transporte, telecomunicaciones, alimentos, y servicios de gestión de residuos. En energías renovables ha trabajado con Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) desarrollando proyectos de energía en Perú, Chile, Ecuador, etc. En Chile participó en la determinación del potencial del uso de biogás como parte del diagnóstico de potencial y priorización de energías renovables en la Región Coquimbo y Arica y Parinacota; determinación del potencial del uso de biogás como parte del diagnóstico de potencial y priorización de energías renovables en la Región Aysén; desarrollo y estructuración del proyecto de reducción de GEI del relleno sanitario Santa Marta y en la evaluación técnico económica de la planta de generación de

	energía eléctrica utilizando biogás del relleno sanitario Lomas Los Colorados. Su página web es: www.deuman.com.
Maestranza Diesel (MD)	Es una empresa que representa marcas internacionales (ej. GE Waukesha, GE Transportation y E. Jenbacher) realizando proyectos de generación eléctrica para la reducción de costos de operación y optimización de la producción. La empresa suministra equipos generadores que pueden funcionar con gas propano, gas natural, gas de refinería y biogás de rellenos sanitarios y biodigestores. Ha participado en proyectos como: KDM para el aprovechamiento del biogás captado desde el relleno sanitario Loma Los Colorados, Til Til para su posterior comercialización al sistema eléctrico (dos grupos generadores a biogás de 1MW cada uno, sistema de acondicionamiento de biogás, conexiones y puesta en marcha); y proyecto de cogeneración de energía (generador de 1 MW) con la utilización de un motor de combustión interna a base del biogás producido por los biodigestores de la planta de tratamiento de la Empresa Sanitaria del Biobío (ESSBIO). La página de la empresa es: www.md.cl.
Combustión Integral	Es una empresa dedicada a procesos térmicos y de combustión, que realiza asesorías y mejoramientos de procesos industriales. En el tema de biogás ofrece el servicio de mantención de plantas. Su página web es: www.combustionintegral.cl
Prosein	Es una empresa que se especializa en la fabricación a pedido de equipos, caldererías y estructuras y brinda servicios de mantención y montaje industrial para el sector forestal, pesquero, portuario, naval, vial, minero, y de obras civiles e industriales en general. Ofrece el tratamiento de aguas residuales y de residuos líquidos, siendo parte de la RED Biogás Chile. Su página web es: www.pro-ambient.com
Proterm	Es una empresa que desarrolla proyectos de inversión, potenciamiento y reconversión de plantas de energía, además oferta la transformación de matrices energéticas de plantas industriales de tecnologías de combustión de combustibles fósiles a renovables realizando la evaluación técnico-económica de proyectos orientados al autoabastecimiento de energía de plantas industriales y/o generación. Algunos de los proyectos en que ha participado son: Central Cogeneración a Biomasa de 12 MWe (Forestal y Papelera Concepción S.A); Planta Térmica Agua Caliente de 4,6 MWt (Forestal León Ltda.); modificación de 4 calderas a carbón. Su página web es: www.proterm.cl
Minimet S.A.	Es una empresa que desde 1989 desarrolla proyectos en el área de ingeniería y construcción en Chile y el extranjero. La empresa está asociada con cuatro empresas suecas: Biosystem, Ecobath, Emendo y Miljö & Processteknik. Estas asociaciones han dado marco a cooperación técnica entre Chile y Suecia, permitiendo la transferencia de tecnologías en el área sanitaria. La empresa diseña, construye y reacondiciona plantas de tratamiento de aguas. Su página web es: www.minimet.cl

Fuente: elaboración propia (2016)

Imagen 9. Biodigestor de Metal Glass de uso domiciliario

Fuente: ww.metalglass.cl (consultado en julio del 2016).

2.3.5 Principales instituciones de formación e investigación

En la actualidad los estudios publicados en Chile acerca de la industria lechera se enfocan en la producción y comercialización de los productos y en menor medida respecto al tratamiento de efluentes resultantes de los procesos industriales y/o la generación de biogás y digestato a partir de estos. Hay pocas universidades e institutos de investigación en Chile que han publicado estudios en materia específica de biogás; los que están disponibles han sido generados principalmente como resultado de tesis de grado y postgrado.

Dentro de las instituciones de formación que han realizado actividades relacionadas al tema biogás podemos mencionar:

- Universidad Técnica Federico Santa María (UTFSM) y su Centro de Innovación Energética (CIE)
- Universidad de Chile (UDECh)
- Pontificia Universidad Católica de Chile (PUC)
- Universidad de Santiago de Chile (USACh)

- Universidad de Concepción (UDEC) y la Unidad de Desarrollo Tecnológico (UDT)
- Universidad Austral de Chile (UACh)
- Universidad de Los Lagos (ULAGOS)
- Pontificia Universidad Católica de Valparaíso (PUCV)
- Universidad de la Frontera (UFRO)

Entre los estudios realizados por estas universidades se han presentado tesis de grado en el área de digestión anaerobia para la obtención de biogás evaluándose distintos sustratos agropecuarios como bagazo cervecero (Rodríguez, 2012), paletas de tuna (Toro, 2016), generación de biogás en rellenos sanitarios (Gómez, 2010), digestores rurales (Gajardo, 2013), así como también el uso de purines de vacunos y lechería (Jiménez, 2015; Lagos, 2013).

La siguiente tabla muestra un resumen de tesis generadas a nivel nacional vinculadas con el tema biogás:

Tabla 11. Publicaciones/tesis relacionadas con el tema biogás por universidad.

Universidad	Autores y años
Universidad de Chile (UDECH)	Decap (2006) Cornejos (2009) Bedregal (2010) Pérez (2010) Schmidt (2010) Zúñiga (2010) Garay (2011) Rubí (2011) Marín (2011) Reyes (2011) Pacheco (2012) Gajardo (2013) Grass (2013) Lagos (2013) Rodríguez (2012) Varnero et al. (2004) Varnero (2001) Varnero (1991) Varnero y Arellano (1990)
Universidad de La Frontera	Espinoza (1985) Soto (1985) Muñoz (2004) Gaete (2007) Valdés (2008) Neira (2009) Astudillo (2009)

	Meier (2011) Valeria (2013) Barros (2013) Pavez (2013)
Universidad de Concepción (UDEC)	Toro (2016) Villamar et al. (2016)
Pontificia Universidad Católica de Valparaíso (PUCV)	Jiménez (2015) Gómez (2010)
Universidad Austral de Chile (UACh)	Téllez (2008) Hernández (2009) Vermehren (2013) Cea (2014)
Universidad de Talca (UTALCA)	Leal (1983) Olave (1986) González (2008)
Universidad de Santiago de Chile (USACH)	Fuente (2013) Valladares (2014)

Fuente: Elaboración propia (2016), adaptado de: http://www.tesischilenas.cl/

Por otra parte, el INIA Remehue mantiene una línea de investigación permanente relacionada al manejo de efluentes pecuarios. En ella, y a través de dos convenios (CIFES y UNIDO) y un proyecto financiado por el Ministerio de Energía, durante el 2015-2016 se ha generado información importante para el sector pecuario ya que se ha evaluado bajo condiciones locales la producción de biogás y las características del digestato generado a partir de purín de lechería. Desde las tres iniciativas en mención se prevé la generación y difusión de información en el tema biogás tanto en revistas científicas como de difusión.

Finalmente, aunque no son universidades, ni centros de formación técnica, en Chile también existe una red y algunas asociaciones que se relacionan directamente o pueden relacionarse a futuro con los otros actores de la cadena del biogás en pro de la generación y difusión de información y conocimiento en el tema biogás. Entre ellas tenemos:

- **REDbiogás Chile:** es una estructura de coordinación estratégica de vinculación entre la ciencia y la empresa con la finalidad de promover proyectos energéticos en biogás a nivel nacional en base a experiencias exitosas desarrolladas en otros países y en Chile. La red está conformada por representantes de los ámbitos público, privado y académico en colaboración con expertos internacionales. Su página web es www.redbiogas.cl
- **ACERA (Asociación Chilena de Energías Renovables):** es una organización que promueve la generación de ERNC, contribuye al desarrollo de un marco regulador para incentivar la producción de las mismas, e impulsa la instalación de una potencia de 30% de la matriz energética en base a energías renovables al año 2030. Su página web es www.acera.cl

- **APEMEC (Asociación de Pequeñas y Medianas Centrales Eléctricas):** desde el año 2008 busca concretar proyectos de generación hidroeléctrica y optimizar centrales en operación de entre 1-60 MW de potencia instalada. Además, estimula, apoya y difunde el desarrollo de proyectos de pequeñas y medianas centrales hidroeléctricas, promoviendo un marco regulatorio que les permita optimizar su funcionamiento. Su página web es www.apemec.cl
- **ACHEGEO (Asociación Chilena de Geotermia):** desde el 2009 fomenta la utilización de la energía geotérmica en Chile. Está conformada por personas naturales y jurídicas interesadas en desarrollar proyectos de ERNC, fomentando a la vez la investigación, el desarrollo y utilización de recursos geotérmicos en todo el país. Su página web es www.achegeo.cl

3. Proyectos de generación de biogás en Chile

3.1 Generación de biogás y el sector agropecuario

La generación de biogás por parte de productores agropecuarios aún se encuentra en su etapa inicial, por lo tanto, es necesario comenzar con la formación de los mismos en aspectos relevantes acerca de la producción de biogás para elevar su nivel conocimiento y así desarrollar las capacidades técnicas. En la actualidad existe una serie de obstáculos y aspectos técnicos, financieros, institucionales y regulatorios que deben ser considerados para lograr incorporación de tecnologías para la generación de biogás en el sector lechero. Algunos de estos aspectos han influido negativamente en que los productores no implementen la tecnología en sus predios y desconozcan el uso de equipos para digestión anaeróbica en base a efluentes ganaderos.

Como se mencionó en el numeral anterior un aspecto importante es la falta de legislación directa para normar las actividades del sector agropecuario en Chile, ya que el marco regulatorio es aplicable a toda la industria nacional, careciendo a la fecha de elaboración de este documento de normativa específica sobre la gestión y tratamiento de desechos agropecuarios. Si bien es cierto, existen empresas con capacidad de implementar sistemas de biodigestión, mientras no exista un incentivo legal o económico se dificultará la adopción de nuevas tecnologías y la utilización de sistemas de tratamiento de los residuos pecuarios.

Hasta ahora parte de las experiencias en biogás registradas se han suscitado a partir de distintas motivaciones, pudiendo distinguir diferencias entre las visiones de grandes y medianas empresas, gremios, asociaciones y productores independientes. Las grandes empresas productoras están motivadas principalmente por intereses productivos y/o comerciales.

Los productores lecheros en su gran mayoría no poseen sistemas de tratamiento de sus efluentes pecuarios, siendo pocos los que a nivel nacional han incursionado en el uso de biodigestores como forma de tratamiento de los desechos orgánicos. La motivación de éstos

está más ligada al tratamiento de los efluentes, siendo conducidos muy de cerca por los proveedores de tecnología. Generalmente la energía generada se destina al autoconsumo y muy poca es inyectada a la red. Las experiencias por parte de los productores han sido variadas, existiendo proyectos en operación, pero también muchos proyectos fallidos y en desuso debido a problemas de diseño, construcción y/u operación.

En la mayoría de los predios con digestores se carece de registros que puedan servir para una estimación confiable del potencial real de generación de biogás. La información faltante incluye: volumen de residuos generados; composición química de los residuos; forma de almacenamiento y gestión de los mismos; número de vacas en ordeña por estación; etc. Por lo tanto, si no se conoce cuantas unidades animales serían necesarias para producir un volumen de residuos adecuados destinados a la producción de rentable de bioenergía, es difícil pensar en una forma efectiva para diseñar instrumentos de fomento de la biodigestión a nivel predial.

Esta información es necesaria no solo para implementar un sistema productivo orientado a la generación de energía en los predios agropecuarios, sino también para estimar el potencial comercial de venta de la misma y por tanto la evaluación de las tasas de recuperación de las inversiones necesarias en equipo, tecnología y asesoría.

Si bien es cierto, existe un aumento en el número de plantas de biogás en Chile en los últimos años, con un mayor número de proyectos, planes de mejoramientos y ampliaciones, muchas de las empresas y lecherías con potencial de aprovechamiento ven como limitante los altos costos de inversión de los proyectos y el aumento de la complejidad de las actividades asociadas a la operación o regulación de las mismas.

3.2 Plantas de biogás en Chile

Los proyectos con instalaciones de biogás en Chile a la fecha se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 12. Plantas de biogás en Chile.

Nº	Nombre Instalación	Capacidad MW	Región	Etapa	Tipo de sustrato utilizado	Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental	Estado
1	CCU-Antofagasta	0,2	Antofagasta	En operación	Riles	Sin información	Sin información
2	Las Palmas	Sin información	Valparaíso	Sin información	Guano de ave de carne	Declaración de Impacto Ambiental	Desistido
3	Planta Biogás Ventanas	Sin información	Valparaíso	Sin información	Paletas de tuna	Declaración de Impacto Ambiental	Aprobada
4	Santa Marta	13,8	Metropolitana	En operación	Residuos sólidos domiciliarios	Declaración de Impacto Ambiental	Aprobado

5	Lomas Los Colorados*	2,0	Metropolitana	En operación	Residuos sólidos domiciliarios	Declaración de Impacto Ambiental	Aprobado
6	Lomas Los Colorados II*	18,2	Metropolitana	En operación	Residuos sólidos domiciliarios	Declaración de Impacto Ambiental	Aprobado
7	Trebal Mapocho*	5,0	Metropolitana	En operación	Aguas servidas	Declaración de Impacto Ambiental	Aprobado
8	Planta de Tratamiento de Aguas Servidas La Farfana	0,3	Metropolitana	En operación	Aguas servidas	Sin información	Sin información
9	CCU-Santiago	4,1	Metropolitana	Puesta en marcha	Riles	Sin información	Sin información
10	Planta de Riles Prunesco	0,5	Metropolitana	En operación	Riles y lodos	Sin información	Sin información
11	Planta de Biogás SERVINOR	0,8	Metropolitana	En operación	Riles orgánicos	Sin información	Sin información
12	ECOCLEAN S.A.	4,0	Metropolitana	Sin Info	Residuos sólidos domiciliarios	Declaración de Impacto Ambiental	Desistido
13	Santa Irene*	0,4	O'Higgins	En operación	Purín de cerdo	Sin información	Sin información
14	Tamm*	0,2	O'Higgins	En operación	Purines, orujo, pomaza	Sin información	Sin información
15	Las Pampas*	0,4	O'Higgins	En operación	Purín de cerdo	Sin información	Sin información
16	Biodigestor Rural David Pérez	0,1	O´Higgins	En operación	Descargas de baño y residuos orgánicos	Sin información	Sin información
17	Biodigestor Rural Isabel Zúñiga	0,1	O´Higgins	En operación	Purín de cerdo	Sin información	Sin información
18	Fábrica de abonos MURKE	Sin información	Maule	En operación	Purines bovinos	Sin información	Sin información
19	Fundo "Los Castaños"	Sin información	Maule	Proyecto en 2006	Purín de cerdo	Declaración de Impacto Ambiental	Desistido
20	HBS*	2,2	Bío Bío	En operación	Purín y residuos agroindustriales	Declaración de Impacto Ambiental	No Admitido a Tramitación
21	Ancali*	1,6	Bío Bío	En operación	Purines bovinos	Declaración de Impacto Ambiental	Aprobado
22	Lechería Pumahue (Negrete)	0,4	Bío Bío	Abandonado	Purines bovinos	Sin información	Sin información
23	Nancy Flores	Sin información	Bío Bío	(En operación a Agosto del 2014)	Guano y purín de cerdo	Sin información	Sin información
24	Juana Venegas	Sin información	Bío Bío	(En operación a Septiembre del	Guano	Sin información	Sin información

				2015)			
25	Liceo Agrícola y Forestal El Huertón	Sin información	Bío Bío	(En Proyecto al 2013)	Sin información	Sin información	Sin información
26	Liceo Agrícola de Chillán	Sin información	Bío Bío	(En Proyecto al 2013)	Sin información	Sin información	Sin información
27	Liceo Agrícola Negrete	Sin información	Bío Bío	Sin información	Sin información	Declaración de Impacto Ambiental	Aprobado
28	Facultad de Ingeniería Agrícola – UdeC	0,011	Bío Bío	En mantención	Residuos vegetales	Sin información	Sin información
29	CCU-Temuco	1,8	Araucanía	En ampliación	Riles	Sin información	Sin información
30	CCU-Valdivia (Kunstmann)	0,1	Los Ríos	Proyecto	Riles	Declaración de Impacto Ambiental	Aprobado
31	Ricardo Hagedorn	Sin información	Los Ríos	En operación	Purines bovinos	Sin información	Sin información
32	Edgar Endress	Sin información	Los Ríos	Puesta en marcha	Purines bovinos	Sin información	Sin información
33	Roberto Grob	Sin información	Los Ríos	En abandono	Purines bovinos	Sin información	Sin información
34	Clemente Heinrich (Planta Riles del Sur)	Sin información	Los Ríos	Sin información	Riles	Sin información	Sin información
35	Ricardo Helwig	0,036	Los Ríos	En operación	Purines bovinos	Sin información	Sin información
36	Planta piloto Gobernación Provincial de Valdivia (zona costera)	Sin información	Los Ríos	Sin información	Sin información	Sin información	Sin información
37	Planta piloto Gobernación Provincial de Valdivia (Llano central norte)	Sin información	Los Ríos	Sin información	Sin información	Sin información	Sin información
38	Planta piloto Gobernación Provincial de Valdivia (Llano central sur)	Sin información	Los Ríos	Sin información	Sin información	Sin información	Sin información
39	L&E S.A (Schwager)	1,0	Los Lagos	En operación	Riles lácteos	Sin información	Sin información
40	Planta de Tratamiento de Aguas Servidas ESSAL	0,25	Los Lagos	En operación	Aguas servidas	Sin información	Sin información

	Osorno						
41	Lácteos Osorno (Schwager)	0,6	Los Lagos	En operación	Riles lácteos	Sin información	Sin información
42	Vertedero El Empalme	0,4	Los Lagos	En operación	Residuos sólidos domiciliarios	Sin información	Sin información
43	Alejandro Astete (Biotecsur)	0,3	Los Lagos	En operación	Purines bovinos	Sin información	Sin información
44	Ricardo Bornscheuer (Biotecsur)	0,031	Los Lagos	En operación	Purines bovinos	Sin información	Sin información
45	Resi Reinecke (Biotecsur)	0,2	Los Lagos	En operación	Purines bovinos	Sin información	Sin información
46	INIA-REMEHUE Planta piloto (Ecodiseño)	Sin información	Los Lagos	Puesta en marcha	Purines bovinos	Sin información	Sin información
47	INIA – REMEHUE Planta modular (Greenwatt)	Sin información	Los Lagos	Puesta en marcha	Purines bovinos	Sin información	Sin información
48	Lácteos Puerto Octay (Schwager)	0,5	Los Lagos	En operación	Riles lácteos	Sin información	Sin información
49	Reinner Neumann, Osorno	Sin información	Los Lagos	En abandono	Purines bovinos	Sin información	Sin información
50	Liceo Vista Hermosa	Sin información	Los Lagos	Proyecto sin terminar	Purines bovinos	Sin información	Sin información
51	Quesera Dos Castaños	Sin información	Los Lagos	Sin información	Sin información	Sin información	Sin información
52	Hernán de la Puente	Sin información	Los Lagos	No operativo	Sin información	Sin información	Sin información
53	Jaime Amthauer	0,0168	Los Lagos	En operación	Purines bovinos	Sin información	Sin información
54	Roberto Soto	Sin información	Los Lagos	En abandono	Purines bovinos	Sin información	Sin información
55	Kurt Klocker	Sin información	Los Lagos	No operativo	Purines bovinos	Sin información	Sin información
56	Planta de biogás y co-generación de energía térmica-eléctrica (proyecto FIA)	45	Los Lagos	En construcción	Purín lechería	Sin información	En construcción
57	Planta de tratamiento de	26	Los Lagos	En construcción	Purín lechería	Sin información	En construcción

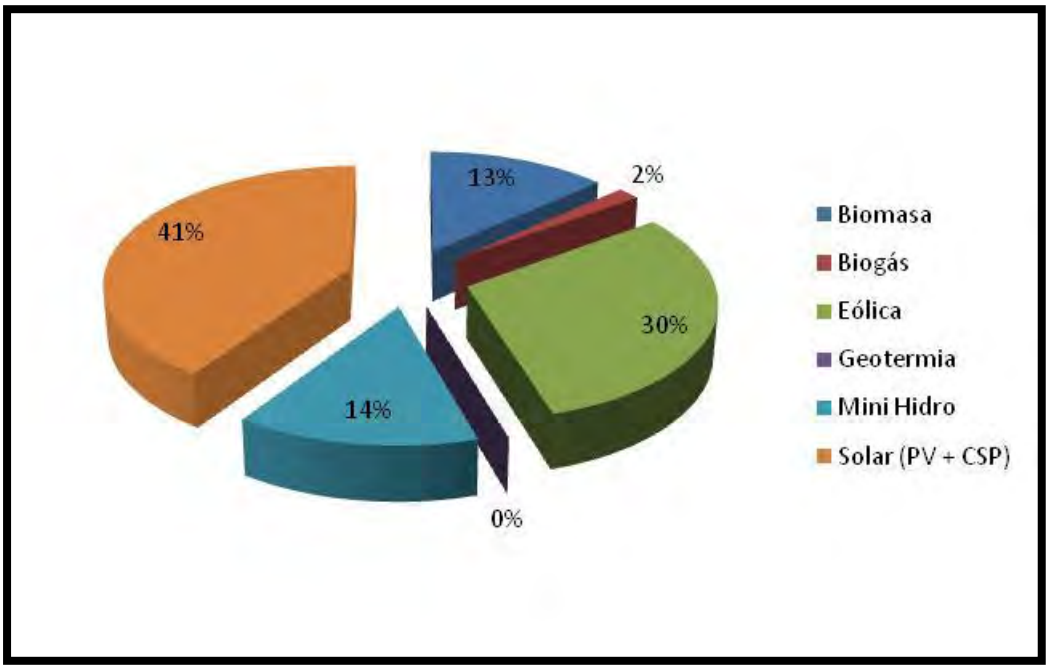
purines con biodigestor y co-generación eléctrica para riego de biofertilizante (proyecto FIA)	

*Plantas conectadas al Sistema Interconectado Central (SIC)

Ocho plantas de generación a base de biogás están actualmente conectadas al SIC y la capacidad instalada en conjunto de dicho grupo es de 30 MW. Si estos proyectos estuvieran funcionando a cabalidad estarían aportando 262,8 GWh de energía anuales. Sin embargo, la energía inyectada por dichas plantas al SIC fue de tan solo 190,1 y 167,5 GWh de energía durante los años 2014 y 2015 respectivamente, representando un 72,4% y 63,7% de su potencial de generación (CDEC-SIC, 2016).

Por otra parte el reporte de Energías Renovables en el mercado eléctrico Chileno de CIFES del mes de Julio del 2016 indica que la capacidad instalada ERNC ascendió a 12,6% (2.550 MW), con casi un 90% interconectado al Sistema Interconectado Central (SIC). La inyección de centrales ERNC a la matriz fue de 670 GWh, lo que equivale a 10,8% de la generación total. Por tecnologías el reporte indica una inyección de 131 GWh a partir de bioenergía, 125 GWh eólicos, 121 GWh solares, y 97 GWh de centrales mini hidráulica de pasada. En cuanto al estado de proyectos en operación la Imagen 10 nos muestra la distribución porcentual por tipo de tecnología, siendo el total de 3119 MW (que considera tanto proyectos entregados a la explotación comercial, como proyectos que se encuentran interconectados en fase de prueba) el aporte de la biomasa de 417 MW y del biogás de 53 MW.

Imagen 10. Tecnologías para generación de ERNC (%).



Fuente: CIFES (2016).

4. Generación de biogás en las Regiones de Los Lagos y de Los Ríos

4.1 Justificación territorial

Datos del Banco Central de Chile (BCC), en su cuenta del Producto Interno Bruto (PIB) regional para el país en el año 2014, indican que las regiones que más destacaron en términos de dinamismo fueron Antofagasta, Los Lagos y Los Ríos con tasas de crecimiento del 7,8, 7,0 y 6,1%, respectivamente. El crecimiento del PIB de las Regiones de Los Lagos y Los Ríos fue impulsado principalmente por la industria alimenticia, en específico la producción de lácteos y sus derivados (BCC, 2015).

Como se mencionó anteriormente, un aspecto clave es el alto volumen de purines generados en los predios lecheros de las Regiones de Los Lagos y de Los Ríos. Estos efluentes pecuarios brindan una oportunidad para que el rubro incursione en la utilización de digestores anaeróbicos, no solo para la generación de biogás, sino también como forma de tratamiento de los purines de lechería. Con la finalidad de incrementar el potencial de predios que adopten esta tecnología, el proyecto debiera considerar sistemas de producción de leche más intensivos, con una alta producción de carga orgánica potencialmente digerible. Esto implica que se debería considerar principalmente los sistemas semi estabulados o con estabulación completa tanto en la zona sur como en otras zonas

de producción de leche. Además, al igual como ocurre en otros países se debe evaluar la co-digestión con otros sustratos con alto potencial de generación de biogás.

Para la estimación del potencial de producción de biogás de un territorio se debería considerar que no todos los desechos animales del predio pueden ser recolectados, ya que como ocurre en el sur de Chile los sistemas son principalmente pastoriles, quedando fecas/orina en las praderas, con solo una parte del total de excretas animales con posibilidad de ser recolectada en patios de espera y salas de ordeña. Esto es sin lugar a dudas una limitante importante para el desarrollo de esta tecnología en éstos sistemas productivos pastoriles.

Para obtener el máximo potencial de generación de biogás por proyecto es importante también considerar el estrato productivo de los agricultores, que a la vez está determinado en gran parte por el número de animales que poseen en el sistema productivo y que por ende influye en el volumen de desechos animales producidos, recolectados y almacenados en el predio. Lo anterior es vital para determinar si en base a estos desechos, a las condiciones que presenta la lechería (ej. clima, manejo del rebaño, etc.), al interés del productor y al mercado de tecnologías disponibles (ej. oferentes regionales y locales de equipos para biodigestores) se puede generar un volumen rentable de biogás, teniendo los efluentes generados en la lechería como la materia prima principal del proceso. Existe también la posibilidad de centralizar el purín de varios predios vecinos, dependiendo de la ubicación del predio lechero y de la viabilidad técnica y logística, en un solo sistema de procesamiento, lo que podría traer ventajas económicas, ayudando a obtener un mayor volumen de biogás por área geográfica.

De contar con condiciones prediales favorables, el biogás generado podría entonces transformarse en energía eléctrica y/o térmica para el autoconsumo de la sala de ordeña y/o incorporación a la red. Para el último caso, podrían negociarse acuerdos de largo plazo (PPA) para la venta de energía eléctrica al sistema interconectado. Lo anterior generaría un ingreso monetario extra para el productor derivado del tratamiento de sus efluentes pecuarios, lo que traería ventajas tanto económicas como ambientales.

La generación de bioenergía mediante el tratamiento eficiente de efluentes también puede ser un aspecto importante desde el punto de vista ambiental y para las empresas o productores que en el futuro busquen diferenciarse obteniendo una certificación como la Estrella Azul otorgada en el marco de la implementación de los acuerdos de producción limpia (APL) o la ISO 14001. Por tanto si se consideran los altos volúmenes de residuos animales y orgánicos generados en las regiones en estudio, la posibilidad de mejorar el porcentaje de materia seca de los mismos, la focalización en sistemas semi o totalmente confinados, una implementación de tecnologías del biogás costo efectiva y la opción de realizar cogeneración, la pertinencia del programa GEF Biogás en el territorio podría reforzarse.

Actualmente las Regiones de Los Ríos y los Lagos presentan ventajas y limitantes técnicas que deben ser consideradas para el establecimiento e implementación de acciones/medidas para fomento de la tecnología del biogás dentro del territorio. Dentro de las ventajas identificamos las siguientes:

- **Alta disponibilidad de efluentes ganaderos:** las lecherías producen constantemente altos volúmenes de efluentes que pueden ser la materia prima para el funcionamiento de biodigestores. Estos brindan la oportunidad de realizar co-digestión con otros sustratos. Por ejemplo existen fábricas de queso a pequeña escala que requieren tratar sus residuos líquidos pudiendo ser sustratos para la co-digestión. Otras industrias importantes en la región son la industria acuícola, faenadoras de animales, queserías artesanales, entre otras.

- **Fácil digestibilidad de los purines:** los purines de bovino lechero presentan un adecuado balance de nutrientes y relación C/N (incluso cercanos al óptimo), lo que hace que sean fáciles de digerir por los microorganismos presentes en los biodigestores.

- **Posibilidad de uso de la energía obtenida por el biodigestor en la misma lechería:** el biogás puede utilizarse en parte para calentar el sustrato contenido en el mismo biodigestor y/o para ser usado dentro de los procesos productivos de la lechería (calentamiento del agua del termo, limpieza de equipos de la sala, etc.), reemplazando en parte el uso de combustibles fósiles. Esta posibilidad de utilizarlo en el mismo sitio evita la necesidad de comprimirlo para su traslado.

  En este sentido, datos reportados por INIA Remehue indican que en su lechería (*c.* 380 vacas en ordeña) el consumo anual promedio (n=3 años) era de 86.792 kWh; de este consumo el 34% correspondía a energía utilizada por el estanque de frío (Nail et al., 2013). Con un sistema de digestión anaeróbica operativo y adecuadamente dimensionado, parte de la energía eléctrica utilizada en la lechería podría provenir de la conversión del biogás generado, sin embargo, esto requeriría la adquisición de un motor a biogás lo que encarece la inversión final. Otra opción es la conversión del biogás a energía térmica que puede ser utilizada en el calentamiento del agua necesaria para limpieza de equipos. Esto traería un ahorro al reducir la cantidad de energía requerida para calentar y mantener el agua a alta temperatura en el termo eléctrico (equipo que puede llegar a consumir *c.* 25% de la energía eléctrica de la lechería según datos de INIA).

  En relación a lo anterior un estudio realizado por el Instituto de Desarrollo Agropecuario (INDAP) indica que los rangos de consumo eléctrico en lecherías/queserías son variados y dependen en forma proporcional del nivel de producción. El diagnóstico y caracterización del consumo energético de los predios evaluados reflejó valores que van desde 150 kWh/mes para productores pequeños hasta >1600 kWh/mes para los productores grandes, con un consumo promedio de 8.218 kWh año (1.434 – 31.176 kWh año). La disminución de estos consumos estaría asociado al manejo eficiente de la energía, específicamente en aspectos como: el tipo y estado del cableado, equipos eléctricos, tableros, luminarias, disyuntores, medidores, conductores y estanques de frío utilizados. En cuanto a la energía térmica, el estudio en mención señala que el consumo energético en labores de limpieza (con uso de gas licuado asociado) equivale a 3.642 kWh/año (173 - 108.000), con posibilidades de reducción asociadas al: estado de la aislación térmica del sistema hidráulico, paredes y techumbre y a la eficiencia de los equipos calentadores y acumuladores de agua (INDAP, 2015).

Si bien es cierto parte o el total de la demanda energética de los predios lecheros podría ser suplida mediante la conversión del biogás generado solo si se logra producir un volumen de gas suficiente que permita la conversión total del mismo en energía eléctrica/térmica, o utilizar parte de la energía en el mismo sistema (si es que el tipo de tecnología del biogás implementada así lo requiere) y en este último caso si se generan excedentes suficientes como para realizar la conversión del metano (CH_4) en energía utilizable en las actividades productivas.

- **Disponibilidad de superficie para la aplicación al suelo de digestato e instalación del biodigestor:** en general los suelos del sur de Chile se caracterizan por bajos niveles de macro y micronutrientes, siendo los digestatos una fuente de ellos permitiendo reciclarlos en suelos y mejorar la productividad de praderas y/o cultivos. Debido al alto precio de los fertilizantes comerciales, los productores normalmente utilizan otras fuentes de aporte de nutrientes (Ej. guanos de pollo, purines y estiércol), siendo el digestato una fuente de nutrientes que podría ser utilizada en praderas y cultivos. La mayor parte de las actividades de producción de leche de las Regiones de Los Lagos y de Los Ríos se realizan en sistemas pastoriles, caracterizándose por terrenos extensos para la alimentación del ganado en base a praderas. En general para ambas regiones el espacio no es una limitante para instalación de biodigestores (independiente del diseño que se elija).

Las limitantes técnicas que presentan las Regiones de Los Lagos y de Los Ríos están relacionadas con:

- **Sustrato de bajo contenido de materia seca:** como se mencionó anteriormente los efluentes lecheros disponibles en los sistemas lecheros de las Regiones de Los Ríos y de Los Lagos, presentan de forma general, un bajo contenido de materia seca, asociado a un bajo porcentaje de confinamiento de los animales, una contribución significativa de las aguas lluvias (por la alta pluviometría de la zona) y del agua de lavado de equipos de ordeña, patios, etc., que son colectados en el pozo de acumulación de purines (Salazar, 2012). Este bajo contenido de materia seca, resulta en una baja contribución de sólidos volátiles (SV) en el material, y con ello, en un bajo potencial de generación de biogás.

- **Bajas temperaturas:** si bien es cierto que existen diferencias dentro de la misma área, las temperaturas en el sur de Chile están por debajo del rango óptimo de operación de los biodigestores anaeróbicos. Esto podría influir negativamente, al generarse biogás pero con rendimientos menores a lo esperado si el reactor no tiene una buena aislación y/o un sistema de calefacción del sustrato incluido. Según el índice térmico para la producción de biogás (Varnero et al., 2004) gran parte del territorio en estudio está categorizado como de baja aptitud. Por lo tanto, para la implementación de biodigestores anaeróbicos en las regiones en estudio es fundamental considerar en el diseño aspectos de aislación y calefacción, de forma tal que las condiciones dadas permitan acelerar la actividad bacteriana del reactor para lograr una óptima degradación de la materia orgánica y alcanzar la producción de biogás que se espera por diseño.

- **Dificultad de recolección de purines en sistemas pastoriles comparado con sistemas confinados:** bajo sistemas pastoriles la capacidad de recolección de fecas está limita a las horas de ordeña y al tiempo de espera en los patios. La estabulación de ganado lechero daría una ventaja en este sentido facilitando la recolección de desechos animales, lo que depende del manejo animal, diseño de las instalaciones y modo de operación.

- **Baja oferta tecnológica:** existen pocos proveedores de tecnologías locales en el área de estudio. Además, tanto las industrias como los predios lecheros carecen de personal calificado y un número no menor de los biodigestores que se encuentran dentro de las Regiones de Los Ríos y de Los Lagos presentan problemas de diseño, construcción (ej. baja calidad de materiales) y operación, lo cual se relaciona con la falta de recursos humanos capacitados y formados en aspectos relacionados con el biogás. En este sentido el personal a cargo de la operación debe controlar como mínimo aspectos de carga, alimentación del reactor, agitación y control de temperatura y pH, lo que puede hacer complejo el manejo de los digestores en un predio agrícola. Además, se requiere mejorar el servicio de post venta de los oferentes de tecnología con biodigestores implementados en las regiones, con tiempos de respuesta por sobre lo requerido/deseado por los dueños de los biodigestores. En este punto también es importante considerar que puede existir limitado stock de repuestos, equipos, dispositivos y/o maquinarias para reemplazar los componentes del sistema que pudieran verse afectados por alguna eventualidad.

En las Regiones de Los Lagos y de Los Ríos las plantas existentes pueden agruparse según la magnitud del volumen del efluente tratado, correspondiendo a dos tipos principales: plantas de tamaño industrial y pequeñas o medianas plantas. Lamentablemente varias plantas de biodigestión no están operativas en la actualidad (Tabla 12); sin embargo es necesario destacar algunas de las plantas operativas que por sus características de diseño, forma de operación y/o rol de difusión y transferencia de la tecnología son emblemáticas para el territorio, por ejemplo:

4.1.1 Plantas de tamaño industrial

- **Planta Lácteos y Energía (L&E):** ubicada en la ciudad de Purranque, Región de Los Lagos, es una planta que genera aproximadamente 72.000 m^3/mes de biogás, a partir de 2 biodigestores con una capacidad de 400 m^3 cada uno, alimentados por riles lácteos (principalmente lactosa). Ambos reactores funcionan con un sistema de calefacción y temperatura promedio de 30-35°C, siendo capaces de generar 2.400 m^3/día de biogás. Su página web es: www.lacteosyenergia.cl/soluciones.html.

- **Planta ESSAL:** ubicada en la ciudad de Osorno, cuenta con un biodigestor cuyo objetivo es estabilizar y generar biosólidos (40 mil t/año). El sistema funciona con calefacción a una temperatura promedio de 30 a 35°C, y es alimentado de lodos generados por la planta de tratamiento de aguas servidas. El biogás generado se utiliza como energía térmica para calefaccionar el mismo biodigestor. La página web de la empresa es: https://www.essal.cl/servicios/tratamiento-de-aguas-servidas.

4.1.2 Pequeñas o medianas plantas

- **Planta de Resi Reinecke:** está ubicada en una lechería de 200 vacas en la ciudad de Purranque. El biogás generado a partir de esta planta tiene como objetivo alimentar la caldera de agua que permite lavar equipos e instalaciones de la sala de ordeña. La planta posee un sistema de dos biodigestores, uno primario y un secundario, ambos enterrados y cubiertos con una geomembrana. Poseen una capacidad de 350 m^3 y 70 m^3 respectivamente, sin sistema de calefacción externo, por lo que sus temperaturas de funcionamiento fluctúan de acuerdo a las condiciones climática donde está ubicada. A través de un acopio de 200 m^3 se produce biogás y digestato. El reactor se alimenta a partir de purín de lechería y es capaz de producir más energía que lo utilizado diariamente (18,5% en uso), por lo que a través de un sistema de cogeneración le permitiría utilizar el excedente en forma de energía eléctrica. La planta en mención, de acuerdo al proveedor de la tecnología, es capaz de producir 35 m^3/día de biogás.

- **Planta de Alejandro Astete:** está ubicada en una lechería de 80-100 vacas en Puyehue. El biogás generado permite alimentar la caldera de agua que permite lavar equipos e instalaciones de la sala de ordeña. Posee un sistema de dos biodigestores, ambos enterrados, construidos utilizando geomembrana y alimentados con purín de lechería. Al igual que el biodigestor descrito previamente, éste tampoco posee sistema de calefacción, ni de medición de biogás. Esta planta, según el proveedor de la tecnología, es capaz de producir 15 m^3/día de biogás.

- **Planta de Ricardo Bornscheuer:** ubicado en una lechería de 200 vacas en Puyehue. La planta de biogás está constituida por un biodigestor primario y uno secundario, ambos enterrados y con una capacidad de 100 y 200 m^3 respectivamente. Cuenta además con un acopio de 200 m^3 del cual se extrae biogás y digestato. Los reactores se alimentan a partir de purín de la lechería y sólo el primario posee un sistema de calefacción por serpentín. El biogás producido tiene como objetivo calentar este reactor primario y alimentar un motor adaptado que genera energía eléctrica empleada en las dos ordeñas diarias que se realizan. Esto último ocurre gracias a que sólo se utiliza un 20,8% de la energía diaria que produce el biodigestor, lo que indica la necesidad de instalar un equipo de cogeneración.

- **Centro Regional de Investigación INIA Remehue:** cuenta con dos plantas ubicadas a 8 km al norte de la ciudad de Osorno. Estas plantas piloto demostrativas permiten el desarrollo de actividades de capacitación y extensión, además realizar y validar investigación de aspectos relacionados a la utilización de efluentes pecuarios como sustrato para la generación de biogás. La planta piloto tiene una capacidad de almacenamiento líquido de 8 m^3 y 3,3 m^3 de gas; mientras que la planta modular tiene la capacidad total de procesar hasta 600 L de efluentes. El biogás generado se utiliza para calentar agua empleada en la calefacción del mismo sistema y para la demostración del funcionamiento de las mismas a grupos de productores/profesores/estudiantes interesados en el tema.

La información relevante de las otras plantas que se encuentran en el territorio se detallada en el informe que contiene los resultados de las fichas técnicas de los biodigestores que se levantaron en ambas regiones.

4.2 Iniciativas públicas relacionadas con proyectos en biogás en las Regiones de Los Lagos y Los Ríos

A nivel gubernamental existen iniciativas relacionadas con la implementación de plantas de biodigestión que han sido impulsadas por distintos organismos del estado en conjunto de la Gobernación Regional de Los Lagos y de Los Ríos, estas son:

- **Iniciativa GORE – SERCOTEC:** Programa FNDR sobre "Implementación de Energía Renovable No Convencional (ERNC) y Eficiencia Energética (EE) para las empresas del sector silvoagropecuario de Los Lagos 2015 - Convenio Transferencia de recursos mediante la implementación de ERNC".

- **Iniciativa GORE – Ministerio del Medio Ambiente:** Programa FNDR sobre "Aplicación de prácticas de fomento productivo para el desarrollo sustentable".

- **Iniciativa GORE – Universidad de Los Lagos:** Proyecto FIC sobre "Valorización agronómica de biosólidos para ser empleados en los programas de mejoramiento y recuperación de suelos erosionados".

- **Iniciativa GORE – Universidad de Los Lagos:** Proyecto FIC sobre "Producción de biogás a través de la co-digestión anaeróbica de residuos orgánicos generados en la isla grande de Chiloé".

- **Iniciativa SEREMI Energía Región de Los Lagos – INIA Remehue:** Proyecto "Planta de digestión anaeróbica para generación de biogás a partir de purín bovino lechero" financiada por el Fondo de Acceso Energético (FAE).

- **Iniciativa MINENERGIA (CIFES) – INIA Remehue:** "Estudio de factibilidad técnica de generación de biogás por medio de purines bovinos en la Región de Los Lagos; caracterización del digestato asociado y recomendaciones de uso (biogás y digestato)".

- **Iniciativa MINENERGIA – Corporación de Desarrollo Social del Sector Rural (CODESSER):** "Convenio de transferencia, para la implementación de sistemas demostrativos de biodigestores y biogás en establecimientos de educación bajo la administración de CODESSER, Planta de biogás y cogeneración en Liceo Bicentenario Vista Hermosa Río Negro".

- **Iniciativa Gobernación Provincial de Valdivia:** Estudio sobre "Autoabastecimiento hídrico y energético a partir de la cosecha de aguas lluvias y la producción de biogás a

través del tratamiento de residuos orgánicos a realizarse en el área rural de las comunas de Mariquina (sector costero), Máfil y Los Lagos".

- **Iniciativa GORE – INDAP:** "Programa de valorización de residuos de la actividad silvoagropecuaria, destinado a usuarios de INDAP Región de Los Ríos".

4.3 Principales aspectos técnicos relacionados con proyectos de biogás

El volumen generado de biogás y más específicamente de CH_4 es uno de los indicadores más importantes para determinar el correcto funcionamiento de un sistema de biodigestión. El CH_4 es el componente del biogás que más interesa desde el punto de vista productivo, principalmente por sus propiedades combustibles, siendo por lo tanto la principal fuente de energía del biogás (Varnero, 2011). El porcentaje de CH_4 dependerá principalmente de la composición del sustrato que a su vez depende de la alimentación del ganado y del manejo de los purines.

Usualmente el contenido de CH_4 en el biogás varía entre 50-70%. Junto con el CH_4 se genera CO_2 que es el otro gran componente del biogás, pero al no ser combustible no es de interés productivo energéticamente. El contenido de CO_2 depende del tipo de sustrato, su concentración ronda 30-45%, el resto lo constituyen otros gases como sulfuro de hidrógeno (H_2S), etc (Varnero, 2011).

Es inusual que en sistemas poco sofisticados se mida el volumen de CH_4 generado, siendo un inconveniente a la hora de evaluar el funcionamiento del biodigestor. En dichas circunstancias es necesario hacer una estimación de la producción de CH_4, la cual puede realizarse por diferentes vías. La forma más simple para determinar dicha producción es considerando el número de animales y la producción estimada de purines que estos generan. A partir de eso, se puede estimar la generación de biogás, considerando que de un bovino de entre 500 y 600 kg se pueden recolectar alrededor de 10 kg de estiércol por día y que este estiércol produce 0,4 m^3 de biogás por día equivalente a 146 m^3 al año (Varnero y Arellano, 1990). Éste factor puede emplearse para estimar la generación total de biogás al multiplicarlo por el número de cabezas animales.

Varios estudios reportan la producción de biogás en función de la materia orgánica que se introduce al biodigestor y que se expresa como m^3 de biogás/kg SV. Para residuos de lechería se han reportado valores desde 0,17 a 0,30 m^3 de biogás/kg SV alimentados, dependiendo de las condiciones en las que operan los biodigestores (Surendra et al., 2014; Rico et al., 2011; Safley, 1988; Moody et al., 2011; Safley and Westerman, 1990).

Otra forma de determinar la generación de CH_4 es a partir de la Demanda Química de Oxigeno (DQO) en el proceso. El DQO es un parámetro que indica la cantidad de sustancias susceptibles a ser oxidadas químicamente en un medio líquido, y es utilizado a menudo para determinar el grado de contaminación de un efluente. El valor de la DQO dependerá del grado de dilución del purín, lo que a su vez depende del manejo de éstos (ej. método de recolección). Para determinar la generación de CH_4 a partir de la DQO es necesario medir el parámetro tanto en el afluente como en el efluente del biodigestor para poder determinar el desempeño de éste en términos de reducción de la contaminación (es decir la diferencia entre el valor de DQO del afluente y del efluente).

Teóricamente, la máxima generación de CH_4 es de 0,35 m^3 de CH_4/kg de DQO degradados a condiciones de temperatura y presión estándar. Sin embargo, los valores reportados son considerablemente menores, y para residuos de lechería van desde 0,2-0,3 m^3 de CH_4/kg de DQO degradados (Rajeshwari et al., 2000).

El desempeño de los biodigestores se puede evaluar desde el punto de vista de la reducción de la carga orgánica del sustrato utilizado, la que se espera sea considerable durante el proceso de digestión anaerobia. Para ello es necesario medir la DQO y la materia orgánica tanto en el afluente como en el efluente, específicamente los SV (que indican la cantidad de materia orgánica existente en los sólidos del sustrato) que usualmente son utilizados como indicadores del desempeño del biodigestor. De esta forma se puede determinar el porcentaje de reducción de éstos. Esto dependerá de las condiciones bajo las cuales opera el biodigestor, dejando en evidencia si el proceso se está llevando a cabo de forma correcta.

Al diseñar y operar un sistema de digestión anaeróbica es necesario tener en cuenta los siguientes parámetros:

- **Temperatura del reactor:** es uno de los factores más importantes que determinan la producción de biogás en un proceso de digestión anaerobia. En general, los biodigestores más sofisticados poseen algún tipo de sistema de control de temperatura. Sin embargo, los digestores más económicos como los de tipo laguna cubierta y manga plástica no poseen control de temperatura y trabajan a la temperatura ambiente si están expuestos superficialmente o del suelo si están enterrados. Esto genera por una parte una disminución en el rendimiento del biodigestor en términos de generación de biogás y por otra parte una gran variación en la producción del mismo a lo largo del año, debido principalmente a los cambios de temperatura (sobre todo los expuestos). Existen tres rangos de temperatura que favorecen el funcionamiento adecuado de un digestor, éstos son: Termofílico (50-60°C), Mesofílico (25-35°C) y Psicrofílico (15-18°C), siendo el proceso de digestión anaerobia más rápido en los rangos de temperatura de 35-38°C (Varnero, 2011).

- **Tiempo de retención hidráulico (TRH):** es definido como el tiempo promedio (usualmente en días) que se encuentra el sustrato dentro del biodigestor. Se calcula dividiendo el volumen del digestor por el flujo de afluente que diariamente se ingresa a éste. Debido a la constante generación de purines, comúnmente los biodigestores de las lecherías operan de manera continua, alimentando al biodigestor diariamente. Es deseable que el TRH sea lo más alto posible, en especial si el digestor está operando a bajas temperaturas para darle tiempo suficiente a los organismos metanogénicos para producir biogás y así lograr mejores rendimientos. Sin embargo, el aumento del TRH implica ya sea una disminución del flujo del afluente en el biodigestor o un aumento en el volumen de este último.

- **Relación C/N:** es un indicador relacionado con el balance de nutrientes en el biodigestor. Los microorganismos consumen C como fuente de energía, y N para realizar la síntesis molecular. Ambos componentes deben estar presentes en la adecuada proporción para optimizar la producción de biogás. En general, los microorganismos del biodigestor

consumen alrededor de 30 veces más C que N, por lo que se considera que la relación óptima entre estos nutrientes debe ser entre 25/1 a 30/1.

- **pH:** el potencial de hidrógeno (H) indica la concentración de iones presentes en una solución e indica el grado de acidez o alcalinidad de ésta. Es utilizado como un indicador en tiempo real del comportamiento del biodigestor gracias a su fácil y rápida determinación. En un sistema de biodigestión típico es deseable un pH cercano a 7 (neutro) para asegurar un correcto funcionamiento del mismo.

- **Alcalinidad:** éste parámetro indica la concentración de sales en el biodigestor y contribuye a la capacidad de amortiguar (mantener más o menos constante) el pH en el proceso de biodigestión.

5. Biogás y reducción de Gases con Efecto Invernadero (GEI) por sustitución de combustibles fósiles

5.1 Avances a nivel internacional

A nivel global, un 93% de las emisiones de GEI en sistemas de producción de leche se generan a nivel predial. En Norteamérica, Europa occidental y Oceanía este valor varía entre 78 y 83%, mientras que, en otras regiones del mundo, incluyendo Latinoamérica, este valor varía entre 90-99%. El principal gas que contribuye a estas emisiones es el CH_4 (50%), seguido por el N_2O (27-38%) y el CO_2 (5-10%). Las emisiones asociadas al manejo del estiércol son más relevantes en sistemas intensivos de producción (15-20%) que en sistemas basados en el pastoreo directo (<5%) (FAO, 2010).

Como se ha expuesto a lo largo del documento, el uso de biodigestores anaeróbicos para el procesamiento de los desechos animales resulta en la generación de CH_4 como subproducto, produciendo biogás que puede ser utilizado como fuente energética para las actividades del predio agrícola. Esta medida de mitigación ha alcanzado un adecuado nivel de desarrollo en otros países, de manera que se encuentra disponible como una de las mejores prácticas de mitigación asociadas al manejo de los desechos animales, como el estiércol, para sistemas productivos de distintos niveles de desarrollo y ubicación geográfica (Gerber et al., 2013; Imagen 11).

Imagen 11. Medidas de mitigación asociadas al manejo del estiércol según el grado de desarrollo.

Fuente: GRA-SAI (2014).

Internacionalmente existen numerosas experiencias de la implementación de esta tecnología a nivel industrial, como por ejemplo la Måjberg Bioenergy (Dinamarca), una de las plantas de biogás más grandes del mundo (Norden, 2014); sin embargo, esta sección del documento solo se centrará en analizar las implicancias del uso de esta tecnología en sistemas de producción animal.

Los biodigestores eficientes disminuyen entre un 60 y hasta más de un 90% las emisiones de CH_4 que podrían generarse del estiércol, sin su uso (Roos et al., 2004; GRA-SAI, 2014; Tabla 13), aunque su implementación puede llegar sólo a mitigar entre un 30-50% de las emisiones directas e indirectas de N_2O (Leip et al., 2010), debido al procesamiento inicial del purín previo a su ingreso al digestor y el manejo del biodigestato generado (Gerber et al., 2013). Esta tecnología en general es recomendable para sistemas de producción de carne, de leche y porcinos, pero la relevancia relativa de la misma en relación a otras medidas de mitigación en cada sistema productivo y región geográfica varía según la importancia del manejo del estiércol como categoría clave para las emisiones de GEI.

Un digestor anaeróbico puede ser utilizado para procesar los residuos de un solo predio o, si la densidad de animales en el área lo permite, puede ser construido para procesar los residuos de los predios circundantes. La experiencia en la instalación de plantas de biogás difiere entre países, dependiendo de la escala asociada a las características del sistema productivo ganadero, el tipo de purín y las condiciones originales de almacenamiento (McLeod et al., 2015). En algunos países, en los sistemas ganaderos de subsistencia, los digestores sencillos pueden requerir altos capitales de inversión, aunque esta inversión tiene periodos de retorno relativamente cortos, especialmente cuando el acceso a otras fuentes de energía es limitado o poco confiable.

En este sentido, regiones con altas temperaturas son ideales ya que el proceso de fermentación es más rápido y la producción de gas puede ser más alta. En contraste, en regiones con temperaturas promedio por debajo de los 15°C, los biodigestores no son recomendados sin una fuente de calor adicional, dado que las bajas temperaturas reducen la producción de biogás si no existe un sistema de aislamiento del reactor adecuado, bajo estas condiciones hay que aumentar los tiempos de retención hidráulica. Adicionalmente, la co-digestión con otros materiales como cultivos

destinados para este fin (ej. maíz) (McLeod et al., 2015) o residuos de otras actividades (industrias de procesamiento) puede resultar en una mayor eficacia en la producción de CH_4.

5.1.1 Potencial de mitigación de GEI por la implementación de sistemas de biodigestión aneróbica

La digestión anaeróbica reduce las emisiones de GEI de los efluentes pecuarios al capturar el biogás producido. La magnitud de esta reducción depende de las condiciones originales de almacenamiento de los desechos, que a su vez depende del tipo de almacenamiento, la temperatura y la cubierta del almacenamiento original, entre otros. Adicionalmente se logra reducir las emisiones indirectas al desplazar el uso de energía generada por combustibles fósiles. En este caso, la magnitud del impacto dependerá del combustible empleado para la generación de electricidad originalmente empleado (Tabla 13).

5.1.2 Costo efectividad de la incorporación de biodigestores anaeróbicos en sistemas de producción animal

Los biodigestores anaeróbicos son una tecnología intensiva en uso de capital, y los costos iniciales de inversión la hacen en general rentable en especial para predios grandes o en sistemas centralizados en que el purín de varios predios vecinos se procesa en un solo digestor. Estudios realizados por Styles et al. (2016) en el Reino Unido sugieren que la instalación de biodigestores anaeróbicos en predios individuales grandes destinados a la producción de leche, aves de corral o cerdo es generalmente rentable, dependiendo del pago por la energía generada y la existencia de subsidios a la inversión u operación de los digestores. Sin embargo, si se considera el pago de £0,1 kWh^{-1} de bioelectricidad (equivalente a CLP \$134 kWh^{-1}), digestores anaeróbicos de menor tamaño, con una capacidad de generación de energía <250 kWe, no serían rentables.

Adicionalmente, y dependiendo de la complejidad del sistema de operación, los costos de operación y mantención anuales puede ser altos. Todos estos aspectos afectan la costo-efectividad de esta medida de mitigación (Tabla 14). Así, en países con sistemas lecheros basados principalmente en el pastoreo directo (República de Irlanda, Nueva Zelandia, Reino Unido), el costo por t CO_2 eq mitigada por la incorporación de biodigestores anaeróbicos en predios lecheros tiende a ser más alto, que en países con sistemas lecheros intensivos que incorporan la estabulación animal (Francia, Alemania). La posibilidad de vender parte de la energía generada resulta en costos muy bajos, pudiendo incluso generar ahorros por t CO_2 eq mitigada (Alemania).

Tabla 13. Potenciales de abatimiento por incorporación de biodigestores anaeróbicos.

Gas	Reducción alcanzada (%)	País	Referencia
CH_4 por almacenaje de purines	85%	USA	EPA 2013
	90%	UE 27	Bates et al., 2009
	75-93%, decreciendo con menores temperaturas ambientales	General	McLeod et al., 2015

Fuente: Elaboración propia, adaptado de Styles (2016).

Cuando existen sistemas productivos bovinos basados en el pastoreo directo, y un clima templado, el costo-efectividad de medidas de mitigación orientadas al incremento de la eficiencia productiva es mayor, que la de aquellas medidas que requieren inversiones en equipamiento o infraestructura. Este es el caso de la República de Irlanda, en que a través del uso de curvas marginales de costo y abatimiento (MACC por su sigla en inglés), el uso de digestores anaeróbicos es sólo recomendado como medida de mitigación para sistemas de producción intensivos de cerdos.

En este caso, en sistemas de producción de leche basados en el pastoreo, las medidas de mayor costo-efectividad resultaron ser aquellas tendientes a aumentar la eficiencia del pastoreo y la pradera (Schulte y Donnellan, 2012; Imagen 12). Dadas las similitudes climáticas y productivas, es probable que en los sistemas de producción de leche de la zona sur de Chile se observe una situación similar, aunque en este punto del proyecto aún existe escasa información de este tipo para determinarlo con certeza.

Debe considerarse también que el uso de la tecnología de los biodigestores tiene beneficios adicionales que habitualmente no son considerados en las evaluaciones de costo-efectividad, tales como control de olores, patógenos y malezas en el purín. Asimismo una evaluación exhaustiva debe dar cuenta de un análisis que abarque más allá del sistema productivo animal, incluyendo aspectos como la superficie de pradera destinada a la producción de forraje o grano para la alimentación del biodigestor, los impactos asociados al transporte de altas cantidades de purín y digestato desde y hacia digestores centralizados, la necesidad de almacenamiento de este material, y el riesgo de otras emisiones al ambiente (lixiviación de NO_3^-, emisiones de N_2O y amoniaco, NH_3) por su uso (Styles et al., 2016).

En este sentido, la literatura indica que se ha demostrado que la incorporación de biodigestores en el Reino Unido, puede incrementar la volatilización de NH_3 y N_2O debido probablemente a las incertezas asociadas al efecto del uso de digestato en las emisiones de NH_3 y la aplicación de fertilizante nitrogenado en los cultivos destinados a los biodigestores anaeróbicos. Una opción para aumentar la eficacia de la tecnología es elevar la categoría del gas generado para que pueda ser empleado como gas para el transporte terrestre.

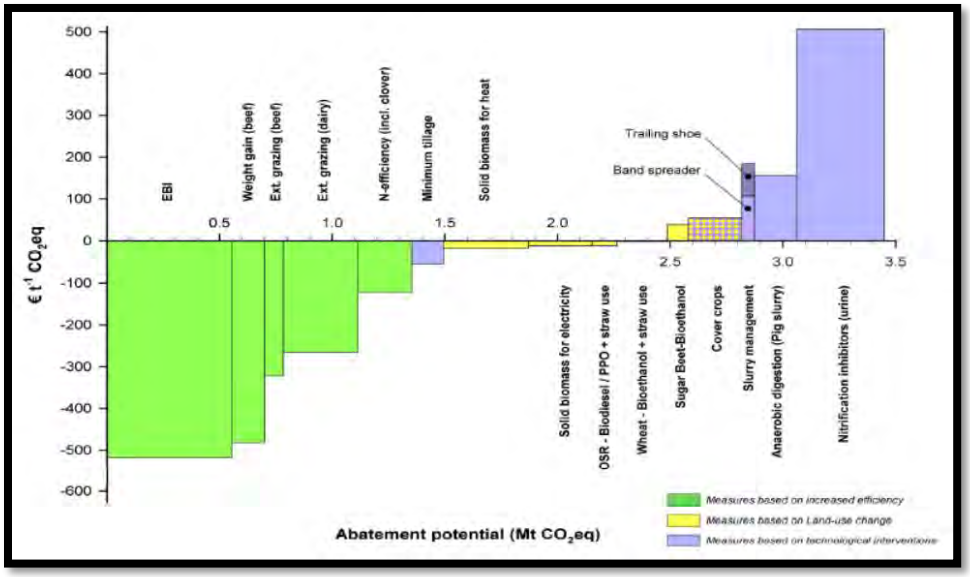
Tabla 14. Efectividad de la digestión anaeróbica.

Costo-efectividad	País	Referencia
Digestores centralizados		
14 EUR/t CO_2e	Reino Unido	Moran et al., 2008
0 a 153 EUR/t CO_2e	UE 27	Amann et al., 2008
(48) a 130 EUR/t CO_2e	UE 27	Bates et al., 2009
0 EUR/t CO_2e	Reino Unido	MacLeod et al., 2010b
Digestores en predios		
(3) to (2) EUR/t CO_2e	Alemania	Weiske and Michel, 2007
(2) a 24 EUR/t CO_2e	Reino Unido	Moran et al., 2008
(20) a 62 EUR/t CO_2e	Nueva Zelandia	ICF, 2008
158 EUR/t CO_2e	Global	Smith et al., 2008
77 a 214 EUR/t CO_2e	UE 27	Bates et al., 2009
22 to 42 EUR/t CO_2e	Reino Unido	MacLeod et al., 2010b
8 to 693 EUR/t CO_2e	UE 27	Hoglund-Isaksson et al., 2010
150 EUR/t CO_2e	Rep. Irlanda	Schulte et al., 2012
17 EUR/t CO_2e	Francia	Pellerin et al., 2013
0 to 635 EUR/t CO_2e	USA	ICF, 2013

Cifras en paréntesis implican un ahorro

Fuente: Mcleod et al. (2015).

Imagen 12. Ejemplo de curva marginal de costo y abatimiento para la agricultura irlandesa usando un análisis de ciclo de vida (LCA).



Fuente: Schulte y Donnellan (2012).

En la Imagen 12 los colores indican medidas basadas en eficiencia (verde), cambio de uso de suelo (amarillo) e intervenciones tecnológicas (azul). Se puede observar que las medidas basadas en aumentos de la eficiencia del sistema de pastoreo (leche) y de la pradera (carne y leche) poseen no sólo un mayor efecto de mitigación, sino que además representan ahorros para el productor, en relación a la implementación de digestores anaeróbicos para el manejo del estiércol en sistemas de producción de cerdos.

5.2 Avances a nivel nacional

En el marco del Programa de las Naciones Unidas para el Cambio Climático, Chile es un país No-Anexo 1, que sin estar obligado se ha planteado metas voluntarias de reducción de las emisiones de GEI. La primera de ellas fue alcanzar una reducción del 20% para el año 2020, en relación a las emisiones del año 2007 (MMA, 2014). Esta meta fue renovada en la propuesta de Contribución Nacional Tentativa (iNDC) presentada por Chile en el marco del Acuerdo de Paris del año 2015, con una meta de reducción basal del 35% por unidad de PIB, en base a los valores registrados el año 2007, para el periodo 2020-2030 (Gobierno de Chile, 2015). Esto ha generado la necesidad de evaluar el potencial de mitigación de medidas que puedan implementarse en los distintos sectores de la economía del país. Las metas de reducción establecidas por Chile se han focalizado en los sectores de energía, principal emisor de GEI de Chile, y en el sector de uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y forestal (LULUCF por su sigla en inglés), capturador neto de CO_2 en Chile.

Existe escasa información en el país sobre el impacto de la implementación de medidas de mitigación en el sector agropecuario. El ejercicio más detallado realizado a la fecha se llevó a cabo en el marco de la ejecución del proyecto MAPS CHILE (Mitigation Options for Addressing Climate Change, Proyecto 81013), financiado por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). Este proyecto tenía por objetivo establecer la proyección de las emisiones de GEI en Chile para el periodo 2013-2050 y establecer el potencial impacto de medidas de mitigación en los distintos sectores de la economía nacional.

Dentro del sector silvoagropecuario, este proyecto consideró el efecto de la implementación de biodigestores a nivel predial para capturar las emisiones de CH_4 generadas en pozos o lagunas de acumulación de residuos orgánicos provenientes de la producción animal (vacas de lechería y cerdos), con tasas de adopción de la tecnología variables para ambas industrias (Tabla 15). Esta modelación consideró la implementación de esta medida para el periodo 2015-2050, estableciendo la necesidad de la creación de una Acción de Mitigación Apropiada al País o NAMA por su sigla en inglés (Nationally Appropiate Mitigation Action) específica para este propósito, debido a los costos iniciales de inversión, principal barrera estimada para la adopción e implementación a nivel predial.

Los resultados de este estudio sugieren que el potencial de reducción de esta medida es medio, con un valor anual de reducción de 0,06 MM t CO_2 eq por año cuando se consideran sistemas de producción de cerdos (zona central de Chile) y de leche (zona central y centro-sur de Chile), para el horizonte 2013-2030 (MAPS, 2014b). A modo de contraste, la implementación de un incentivo a la forestación en el sector LULUCF posee un potencial de mitigación alto, alcanzando según

resultados del mismo proyecto a 4,43 MM t CO_2 eq por año para el horizonte 2013-2030 (MAPS, 2014a).

Tabla 15. Principales supuestos e impacto de la implementación de biodigestores en la industria de producción de cerdos y leche bovina

Nombre	**Implementación de biodigestores**				
Descripción general	Medida tendiente a favorecer la implementación de biodigestores a nivel predial para capturar las emisiones de CH_4 generadas en pozos o lagunas de acumulación.				
Año inicio	2015		Año término		2050
Región/es	Todas				
Descripción de la implementación: curva de adopción	**% de la población bovina y porcina cuyos desechos van a biodigestión.** *Vacas* 2013 2015 2020 2030 2050 0% 1% 5% 10% 20% *Cerdos* 2013 2015 2020 2030 2050 0% 27% 35% 45% 50%				
Modelación					
Principales supuestos	1. Existe una reducción del 90% del FE del CH_4 cuando el purín es enviado a un biodigestor en vez de ser almacenado en pozos o lagunas. 2. Aplica para animales que generan residuos acumulables (vacas lecheras y cerdos). 3. La energía generada se flamea.				
Elementos de costos	Inversión: en el equipamiento Costos de operación: asociados a la operación de biodigestores.				
Reducción de emisiones					
Toneladas CO_2 ahorradas/año (MM)	0,06		Toneladas CO_2 ahorradas 2015-2030 (MM)		0,94
Incertidumbres					
Evaluación general (cualitativa)	La implementación de esta medida está asociada a costos de inversión, en particular en predios lecheros, los que deben contar con apoyo gubernamental, en particular para agricultores de nivel tecnológico mediano y bajo.				
Rangos de incertidumbre asociados a:	*Costos de abatimiento*	Se consideran los costos de un programa de fomento del uso de esta tecnología. Los costos de operación son considerados un aporte del sector privado.			
	Reducción de emisiones	No existe información detallada respecto del número de biodigestores en funcionamiento en el ámbito de producción de leche. La reducción en los factores de emisión (FE) empleados ha sido determinada a nivel internacional.			

Factibilidad		
Evaluación: 1= Baja, 2= Media baja, 3= Media alta, 4= Alta		
Política-institucional *Técnica* *Financiera*	3	*Política-institucional* Esta medida requiere de apoyo a la inversión inicial y un programa de difusión. *Técnica* Este programa debiera dar apoyo de formación y capacitación en la mantención de los sistemas operativos. *Financiera* Se requiere inversión en un programa de apoyo a la implementación de esta medida, dado los costos iníciales de inversión.
Co-beneficios / externalidades		
Ambientales, sociales, económicos		*Ambientales* Potencial disminución de emisiones directas por N aplicado al suelo como material digerido. Cambios negativos en el paisaje por implementación de biodigestores. Reducción de las emisiones por disminución en el uso de combustibles fósiles. *Sociales* Mejora en la calidad de vida de poblaciones en áreas circundantes por disminución de olores. *Económicos* Mayor margen económico por disminución de costos de energía en los sistemas de producción.
Barreras a la implementación de la medida de mitigación		• Costo de inversión inicial • Factibilidad técnica de implementación a distintas escalas • No existe poder de compra de energía generada
Superación de barreras para implementar medidas de mitigación		• Financiamiento gubernamental • Soporte técnico a la implementación • Desarrollo de costo alternativo de energía • Campaña de difusión
Estado del arte internacional		Existe información de implementación de este tipo de tecnología a distintas escalas a nivel mundial. El mayor desarrollo de esta tecnología en sistemas ganaderos ha sido realizado en países europeos, los cuales en general incentivan con subsidios o compra a precio más alto la energía producida por biodigestores. Otro a aspecto importante es que el sistema interconectado de distribución de energía recibe toda la energía producida, permitiendo con ello incentivar la producción por biogás en predios ganaderos. Si bien los purines ganaderos permiten generar biogás, estos son complementados con otro tipo de residuos o subproductos (ej. forraje) con la finalidad de mejorar la eficiencia de producción de biogás con sistemas de co-digestión.

Análisis de la calidad de la información disponible para modelar medida	Adecuada, existe información internacional sobre la eficacia de esta tecnología de tratamiento de subproductos y residuos. Sin embargo, hay escasa información nacional respecto de la eficiencia de biodigestores, en particular en zonas frías (sur del país). A la fecha hay biodigestores funcionando en predios ganaderos, principalmente de producción porcina y bovina de leche, sin embargo, no existe información publicada de los parámetros de producción de biogás y calidad del efluente o biodigestato generado. Otro aspecto a considerar es que si bien un parte de la producción ganadera es generada en sistemas confinados, una parte importante en el caso de sistemas bovinos lecheros y de carne es en base a pastoreo donde el mayor porcentaje de fecas y orina, insumo para la biodigestión, es depositado naturalmente por los animales en pastoreo.

Fuente: proyecto MAPS Chile, reporte sectorial (2013).

En el ámbito de producción bovina nacional, a partir del año 2012, se inició una línea de investigación tendiente a evaluar el efecto de las características de la dieta sobre las emisiones de CH_4 entérico (Fondecyt de iniciación "Effect of concentrate supplementation and pasture growthon enteric methane emissions") y a comprender la dinámica del origen de estas emisiones (Fondecyt regular "Physicochemical control of hydrogendynamics in ruminal fermentation"), a través de estos y otros proyectos ejecutados por INIA Remehue, y Cien Austral (en asociación con INIA Remehue), respectivamente. Sin embargo estas alternativas se focalizan en las emisiones de CH_4 de origen entérico y no por almacenamiento del estiércol.

Adicionalmente, el trabajo desarrollado por INIA Remehue en el marco de la generación del Inventario de Gases de Efecto Invernadero de Chile (INGEI), actualización de la serie de tiempo 1990-2013, sólo da cuenta de la incorporación de biodigestores operando en sistemas intensivos de producción de cerdos en la zona central del país a partir del año 2012. Esta información se encuentra en etapa de compilación para su publicación por el MMA. La existencia de biodigestores anaeróbicos en funcionamiento en predios lecheros del sur del país será incorporada en la próxima actualización del INGEI a calcularse a partir del año 2017.

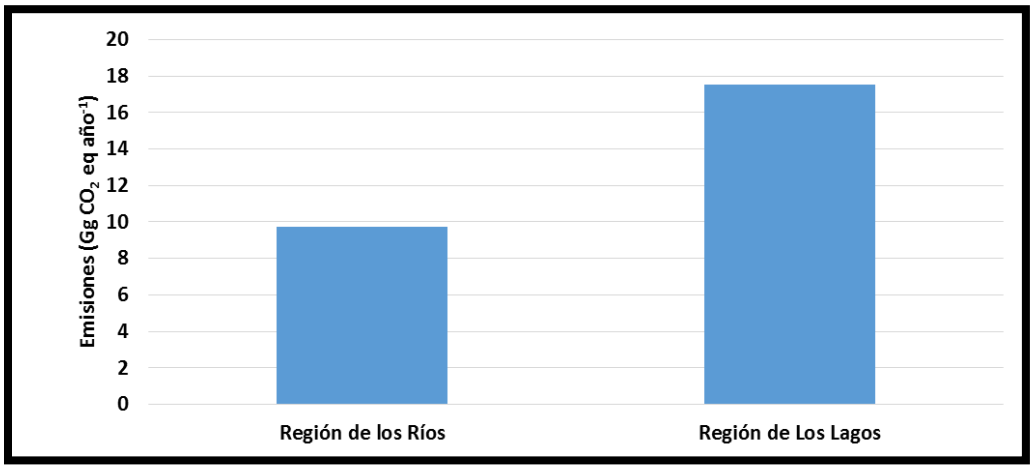
5.3 Emisiones actuales de CH_4 por manejo del estiércol en las Regiones de Los Ríos y de Los Lagos

Las emisiones directas de CH_4 por manejo del estiércol en predios lecheros con entre 100 y 500 vacas en las Regiones de Los Ríos y los Lagos fueron estimadas empleando el número de vacas lecheras de estas regiones que se ubican en este segmento de tamaño de predios (INE, 2015) y el FE promedio (6,36 kg CH_4 eq/animal/año) obtenido para biodigestores en funcionamiento en la actualidad en ambas regiones para predios con entre 100-500 vacas. Para estimar el impacto del uso de biodigestores a nivel regional, se consideró el impacto de mitigación logrado por estas unidades.

Las emisiones por manejo del estiércol de ambas regiones alcanzan a 27,28 Gg CO_2 eq/año. Los resultados indican que las emisiones son 1,8 veces más altas en la región de Los Lagos, respecto

de la región de los Ríos, debido al mayor número de vacas en la categoría objetivo de este estudio (Imagen 13).

Imagen 13. Emisiones directas de CH_4 por manejo del estiércol en las Regiones de Los Ríos y de Los Lagos para predios con entre 100 y 500 vacas (Gg CO_2 eq/año).



Fuente: elaboración propia (2016).

La mitigación generada por los biodigestores implementados en ambas regiones en la actualidad es muy baja. Para el tramo de animales (100-500 vacas) considerados en esta evaluación, no existen biodigestores en pleno funcionamiento en la Región de Los Ríos, mientras que la mitigación lograda por los predios de este tamaño en la Región de Los Lagos (n=3) alcanza a 0,02 Gg CO_2 eq/año. Esto representa una reducción de 0,1%.

5.4 Proyección de las emisiones regionales

Como una forma de estimar el impacto potencial de esta tecnología a nivel regional, se proyectó la implementación de biodigestores en predios lecheros de las regiones de Los Lagos y de los Ríos para todos los animales de la región, según tamaño de predio. El número de vacas de lechería fue obtenido de INE (2015), mientras que el factor de emisión de CH_4 por animal asociado al manejo de estiércol empleado para la proyección fue el valor promedio generado en los 20 predios potenciales de instalación de biodigestores, en la situación sin biodigestor. El FE por vaca fue dividido según el sistema de manejo del purín a nivel predial asociado al número de animales. Así, los predios se agruparon en sistemas de laguna cubierta (estrata 1 a 499 vacas) y sistema de estanque agitado (estrata >500 vacas). Los FE estimados alcanzaron a 17,64 y 87,31 kg CH_4/vaca/año para predios con <499 vacas y >500 vacas, respectivamente (Tabla 16).

La proyección de las emisiones también se realizó para la condición con biodigestores. En este caso, los FE alcanzaron a 22,99 y 171,50 kg CH_4/vaca/año para predios con <499 vacas y >500 vacas, respectivamente (Tabla 16). Los FE estimados para predios con sistema de laguna cubierta (estrata 1 a 499 vacas), sin y con biodigestores, se encuentran dentro del rango reportado por el

IPCC para sistemas de vacas lecheras de Europa Occidental (11-29 kg CH_4/vaca/año; IPCC, 2006), lo que concuerda con la similitud de los sistemas pastoriles de esta región con aquellos del sur de Chile.

Los FE obtenidos para sistemas con estanques agitados (estrata > 500 vacas) en la situación sin biodigestor se encuentran dentro del rango de incertidumbre de los valores reportados por el IPCC para sistemas de Norteamérica (20-87 kg CH_4/vaca/año), probablemente asociado a que corresponden a sistemas productivos con mayor generación de residuos líquidos de bajo contenido de materia seca. La generación de CH_4 equivalente en predios con estanques agitados y que implementan biodigestores, al ser transformados a generación de CH_4 por unidad de SV aportado, coinciden con valores reportados para sistemas de producción lechera en Estados Unidos (0,24 m^3 CH_4/kg SV; USDA, 2009), Dinamarca (0,28 m^3 CH_4/kg SV; Hansen et al, 1998) y Suiza (0,24 m^3 CH_4/kg SV; Bretscher, 2013), alcanzando a un promedio de 0,25 m^3 CH_4 /kg SV.

5.4.1 Proyección de la mitigación de emisiones de GEI asociadas la gestión del estiércol a nivel regional

Los resultados indican que, si se proyecta la adopción de la tecnología de biodigestores anaeróbicos a todas las vacas en ordeña de las Regiones de Los Ríos y Los Lagos, la reducción real estimada alcanzaría al 82% de las emisiones proyectadas teniendo en cuenta el estado base sin incorporación de la tecnología en estas regiones del sur de Chile (Tabla 16).

Tabla 16. Factores de emisión (kg CH_4/animal/año), emisiones directas por manejo de estiércol (Gg CO_2 eq/año) y mitigación proyectada (Gg CO_2 eq/ año y %) para las Regiones de Los Ríos y Los Lagos.

Categoría	Existencia vacas en ordeña	FE sin biodigestor	FE con biodigestor	Emisiones directas por manejo del estiércol (Gg CO_2 eq/año)		Mitigación	
	(N° de cabezas)	(kg CH_4/vaca/año)		Sin biodigestor	Con biodigestor	(Gg CO_2 eq/año)	%
1 a 19 vacas	60.704			26,77	3,84	22,93	86
20 a 49 vacas	36.254			15,99	2,29	13,69	86
50 a 99 vacas	34.429	17,64	22,99	15,18	2,18	13,00	86
100 a 299 vacas	112.551			49,63	7,12	42,51	86
300 a 499 vacas	58.959			26,00	3,73	22,27	86
500 o más vacas	63.247	87,31	171,50	138,05	29,86	108,19	78
Total	**366.143**			**271,63**	**49,02**	**222,60**	**82**

Fuente: Elaboración propia (2016)

5.4.2 Generación de biogás y de energía a nivel nacional en predios de producción de leche

Se realizó una estimación de la producción de biogás, producción de CH_4, potencial energético, producción de electricidad y producción térmica según el número de cabezas de ganado en ordeña (366.143 cabezas; Tablas 6 y 17) en predios productores de leche de las Regiones de Los Ríos y de Los Lagos. Esta estratificación se realizó teniendo en cuenta la focalización del proyecto.

Las estimaciones fueron realizadas asumiendo que el 100% de los desechos animales se tratarían en sistemas de digestión anaeróbica bajo sistema de laguna cubierta (<499 vacas) o de estanque agitado (>500 vacas). Los valores de producción real de biogás se estimaron en base a los SV, y utilizando la información generada en el marco del proyecto, para los 20 predios evaluados en estas regiones. Se consideró una producción de 0,078 y 0,662 m^3 CH_4/vaca.día, para sistema de laguna cubierta y estanque agitado, respectivamente. Estos valores son muy similares a los reportados para lecherías en Australia, basados en sistemas pastoriles y semi confinados, respectivamente (Dairy Australia, 2012). Se consideró un 61% de CH_4 en la composición del biogás (que es el valor promedio de los predios potenciales levantados bajo un sistema típico de laguna cubierta). En el cálculo de la producción de energía se empleó el potencial energético real de CH_4 en base a SV, y factores de eficiencia de generación eléctrica y térmica.

En relación a la estadística reportada por INE (2015) y el Consorcio Lechero (Tabla 6) para el total de ganado bovino lechero nacional, el cual se compone de 436.576 unidades animales, se estimó una producción nacional de biogás de 46.700.187 m^3/año y 28.487.114 m^3/año de metano. A su vez, este valor equivale a un potencial energético de 344.490 MWh/año, con una producción de energía electrica de 113.948 MWh/año y térmica de 256.383 MWh/año.

En base a lo anterior, bajo los mismos supuestos, dado que las Regiones de Los Ríos y Los Lagos comprenden el 84% del ganado bovino lechero nacional, se estimó que la producción de biogás considerando el número de vacas en ordeña para estas regiones es de 39.166.025 m^3/año, con una producción de 23.891.275 m^3 CH_4/año (Tabla 17). Este valor equivale a 238.913 MWh/año, 95.565 MWh/año de producción de energía eléctrica y 215.021 MWh/año de producción de energía térmica.

Es importante recalcar que el sistema de manejo de los predios lecheros de las regiones en estudio es principalmente pastoril con un bajo grado de confinamiento. Este sistema, que se basa en el uso de pradera como principal fuente de alimentación animal, se caracteriza por generar purines altamente diluidos, con una baja contribución de materia seca (Salazar et al., 2007), quedando los desechos principalmente distribuidos como fecas y orina en las praderas durante el pastoreo de los animales. Lo anterior es relevante ya que la colecta de desechos animales es baja en proporción a lo generado diariamente por el animal, lo cual influye negativamente en lograr todo el potencial de generación de biogás que se podría obtener.

Tabla 17. Estimación de la producción de biogás y energía para distintos estratos del número de vacas de producción lechera del país.

Categoría	Existencia vacas en ordeña (N° de cabezas)	Producción de CH_4 (m^3/categoría/año)	Producción de biogás (m^3/categoría/año)	Potencial energético (MWh/año)	Producción electricidad (MWh/año)	Producción térmica (MWh/año)
1 a 19 vacas	60.704	1.725.634	2.828.908	17.256	6.903	15.531
20 a 49 vacas	36.254	1.030.607	1.689.519	10.306	4.122	9.275
50 a 99 vacas	34.429	978.712	1.604.446	9.787	3.915	8.808
100 a 299 vacas	112.551	3.199.509	5.245.097	31.995	12.798	28.796
300 a 499 vacas	58.959	1.676.041	2.747.608	16.760	6.704	15.084
500 o más vacas	63.247	15.280.772	25.050.446	152.808	61.123	137.527
Total	**366.143**	**23.891.275**	**39.166.025**	**238.913**	**95.565**	**215.021**

Fuente: Elaboración propia (2016)

6. Barreras que enfrenta la industria del biogás

Las principales barreras que enfrenta la industria del biogás en Chile están relacionadas con: la conexión de proyectos energéticos a la red; el financiamiento; desarrollo tecnológico; los aspectos regulatorios, formación y capacitación recursos humanos, institucionalidad; y otros aspectos específicos del sector agropecuario.

Estos puntos pueden llegar a limitar el establecimiento de nuevas plantas de biodigestión y modelos de negocios relacionadas con la producción de biogás en el sector lechero. A continuación se describe brevemente cada una de las principales barreras identificadas:

6.1 Conexión a la red

Uno de los problemas a los que se pueden enfrentar los productores de energía basada en la generación de biogás dice relación con las restricciones en la capacidad de transmisión en ciertos puntos de la red troncal del SIC. Para algunos potenciales generadores de energía basada en biogás el problema puede estar relacionado con la localización espacial del predio, y por ende la planta de biodigestión. De estos y otros factores dependerá la capacidad de transmisión de la energía producida desde el emplazamiento hacia la red. Además, la estimación del precio de compra/venta en Chile aún puede ser compleja para el productor, ya que no existe una regulación socializada en el rubro respecto a los mismos.

Por otra parte, parte, los productores del sector agropecuario presentan diferencias sociales y productivas. Esto se reflejan en: la baja asociatividad (principalmente en pequeños productores); baja capacidad de negociación de precios; limitada incorporación a mercados energéticos; bajo acceso a capital; y desconocimiento de la tecnología del biogás. Todos estos aspectos están concatenados a la oportunidad de establecer un nuevo modelo de negocios para el sector lechero basado en la producción de biogás y digestato.

El precio que recibirá el productor por la energía entregada al sistema puede ser una gran limitante o incentivo en el desarrollo de este tipo de energía renovable. En países con mayor grado de desarrollo de la digestión aneróbica se han implementado incentivos de distinto tipo, los que ha permitido desarrollar esta tecnología y crear una cadena de valor especializada.

6.2 Financiamiento

La banca privada requiere para el financiamiento de proyectos energéticos que el productor cuente con un sistema de generación de energía sostenible en el tiempo, de forma tal que se asegure una generación constante y por ende un flujo de caja estable que respalde la liquidez del cliente. Esto representa un obstáculo no solo en Chile, sino en todo el mundo, ya que una de las limitantes de la inversión en generación de ERNC. Específicamente la energía biomásica presenta inconvenientes por su variabilidad tanto en cantidad como calidad del sustrato para la obtención de biogás. En otros países la tecnología del biogás es más conocida, mientras que en Chile la banca aún no está familiarizada con ella, por tanto, presentan cautela al momento de evaluar y aprobar proyectos de este tipo (Vargas, 2013).

Es por ello que para facilitar el acceso a los capitales de inversión inicial requeridos para la implementación de biodigestores anaeróbicos a nivel predial, y con el objetivo de fomentar la adopción de esta tecnología, es deseable generar programas específicos de financiamiento para los productores que permitan solventar la inversión inicial y generar la infraestructura adecuada para la venta de energía a la red nacional energética.

Por otra parte, la banca en general brinda apoyo financiero solamente a desarrolladores, instaladores y oferentes de tecnologías con experiencia y garantías mínimas. Por eso se prefieren aquellas propuestas que ya cuentan con contrato de suministro eléctrico como los ‘Power Purchase Agreements (PPA)’ que son contratos donde se definen todos los términos comerciales sobre la venta de electricidad. Lo anterior es importante ya que los proyectos de ERNC carecen de este tipo de contratos, por lo cual en general no se financian proyectos de autoconsumo aislados.

Otros aspectos que pueden ser objeto de análisis para los productores agropecuarios que estén interesados en establecer un modelo de negocios basado en biogás y digestato incluyen tópicos legales relacionados con los derechos de los inmuebles, propiedad del área de emplazamiento del sitio y los permisos ambientales correspondientes. Para lograr el financiamiento necesario para establecer biodigestores, además de contar con un capital inicial, es importante también presentar una propuesta sólida desde el punto de vista ingenieril, por cuanto es necesario contratar asesores técnicos y legales con experiencia y seleccionar socios claves (contraparte con solvencia financiera o alguna figura de carácter técnico reconocida). Todo lo anterior puede llevar a costos extra para

el productor y por ende a limitar la obtención de financiamiento sobre todo de proyectos piloto y de autoconsumo.

Sin embargo existen formas de financiamiento de plantas de biogás con fondos provenientes del sector público (sobre todo para proyectos de generación de energía a pequeña y mediana escala). Un ejemplo de ello es que CORFO garantiza créditos de la banca para proyectos de inversión y además financia estudios de pre inversión para proyectos de 2-5 millones de dólares. Además existen otros instrumentos para apoyar proyectos a pequeña escala aplicables a predios lecheros como por ejemplo:

- **Fondo de Acceso a la Energía (FAE) del MINENERGÍA:** a través de este fondo se apoyan proyectos que contribuyen al acceso y uso de la energía sustentable a través de la implementación de nuevos sistemas de energías renovables y la generación de conocimientos y capacidades. Para el año 2016 existe un fondo de $564 millones disponibles para proyectos enmarcados en dos líneas de acción: a) energización en la cual se busca cofinanciar el diseño e implementación de soluciones energéticas a pequeña escala que permitan dar respuesta a una demanda energética local y comunitaria, preferentemente en sectores rurales, vulnerables y/o aislados; y b) capacitaciones en materia de energías renovables a través de experiencias teórico-prácticas sobre educación energética que promuevan el aprovechamiento de recursos naturales locales. La página web del FAE es: www.energia.gob.cl/fae. Además, vale mencionar que para este año 2016 el MINENERGIA con el Servicio de Cooperación Técnica (SERCOTEC) fomentaran la producción y comercialización de leña seca a través de un fondo concursable que entregará casi $400 millones para inversión en construcción e implementación de centros de acopio y secado de leña, donde el biogás podría ser utilizado para tal fin. La página web relacionada es: http://www.sercotec.cl/.

- **Fondo de Protección Ambiental (FPA) del MMA:** es el primer y único fondo concursable de carácter ambiental que existe en el Estado. A través de él se financian total o parcialmente proyectos o actividades orientados a la protección o reparación del medio ambiente, el desarrollo sustentable, la preservación de la naturaleza o la conservación del patrimonio ambiental. Posee dos líneas de trabajo: a) concurso de gestión ambiental local que financia proyectos orientados a la gestión de residuos y recuperación de espacios, mitigación al cambio climático y descontaminación ambiental, conservación de la biodiversidad y eficiencia energética y ERNC por un monto de hasta $5.000.000 y proyectos de equidad ambiental territorial por hasta $10.000.000; b) concurso de protección y gestión ambiental indígena que financia proyectos de manejo sustentable y uso eficiente de recursos naturales, gestión de residuos y recuperación de espacios, actividades productivas armónicas con el desarrollo sustentable por un monto de hasta $5.000.000 millones y también proyectos orientados a eficiencia energética y ERNC por hasta $10.000.000. La página web del FPA es: www.fondodeproteccionambiental.cl.

6.3 Formación y capacitación de recursos humanos

En general existe un bajo número de profesionales capacitados y formados con experiencia en sistemas de digestión anaeróbica, lo que se suma a una baja capación técnica en esta temática a nivel nacional, y específicamente en el sector lechero. Este es un tema de gran importancia y que debe ser desarrollado en toda la cadena de producción y que requiere por su importancia una mirada de mediano y largo plazo.

6.4 Desarrollo tecnológico

Otra barrera que limita el desarrollo de la industria del biogás en Chile es la falta de capacidades técnicas para el diseño, construcción, operación, mantenimiento y evaluación de proyectos relacionados con las ERNC, incluida la energía biomásica. Si bién en Chile existe una oferta de tecnologías para la digestión anaeróbica, esta ha sido principalmente orientada desde la oferta de distintos proveedores de tecnología, sin un acabado conocimiento de los sistemas productivos, en este caso lecheros. Al respecto se requiere validar sistemas de digestión anaeróbica para distintos sistemas de producción de leche y áreas geográficas, que consideren no solo aspectos técnicos y de diseño, sino además manejos prediales, económicos, climáticos, aspectos legales y ambientales, y de formación técnica y sociales de los potenciales usuarios de esta tecnología.

Por otra parte, los costos asociados a la construcción de los digestores anaeróbicos son altos. Esto se relaciona con el poder adquisitivo del productor, pero también guarda relación con la limitada o nula formación de los productores lecheros para elegir el equipo o la tecnología más conveniente para su predio, además de aspectos esenciales de operación y mantenimiento de biodigestores. La mayor parte de los productores que poseen una planta de biogás en sus predios desconocen otras variables técnicas asociadas al manejo y mantenimiento de sistemas de biodigestión, existindo además una falta de registros asociados al proceso de producción de biogás.

A lo anterior se suma que en general los predios pecuarios de las Regiones de Los Lagos y de Los Ríos tienen se requiere mejorar la infraestructura para la recolección, almacenamiento y tratamiento de los desechos animales, y por ende también del digestato generado si es que posee un sistema de digestión anaeróbica para el tratamiento de sus efluentes pecuarios o residuos animales. Otra de las limitantes técnicas incluye el largo tiempo requerido para la estabilización de las comunidades de microorganismos en el sustrato usado como base para el proceso de digestión anaeróbica, por lo que el biogás no se genera inmediatamente después de realizadas las cargas del sustrato en la etapa de puesta en marcha del biodigestor.

6.5 Aspectos regulatorios y de institucionalidad

Tal como se mencionó en la sección 1 del presente documento no existe una sola regulación específica asociada al manejo de biogás, lo que genera incertidumbre en los potenciales actores interesados en el tema. A excepción del reglamento y declaración exenta de la SEC, la regulación existente se enfoca entre otras cosas a aspectos sanitarios y ambientales, con pocos elementos de exigencias específicas para la producción y/o uso del biogás.

Por otra parte, se requiere definir procedimientos con criterios claros para la determinación de la calificación sanitaria y ambiental de los proyectos de biogás, lo que puede limitar la instalación de plantas de digestión en ciertos sectores sometidos a un plan regulador que no admita su clasificación. Además, el código sanitario aun no contempla medidas específicas que regulen el uso del biogás.

Desde el punto de vista institucional una de las barreras podría ser que no hay una sola entidad encargada del tema biogás a nivel nacional, estando repartido su fomento, producción, investigación, regulación, y uso como fuente energética entre distintas entidades gubernamentales y privadas. Asimismo, la necesidad de contar con personal técnico formado para regular o fiscalizar la operación de las plantas de biodigestión puede complicar la incorporación o fomento de esta tecnología.

Un aspecto importante es que las políticas institucionales y/o públicas actuales y/o futuras (ej. registro de digestores) podrían llegar a desincentivar a los productores interesados en implementar la tecnología del biogás al aumentar el número de regulaciones a los predios lecheros. La existencia futura de otras regulaciones ambientales, como las que existen en la UE, pueden también afectar su adopción.

Sin embargo, el uso de biodigestores podría beneficiarse con la masificación de sistemas de créditos de C que permitan monitorear la disminución de las emisiones de GEI. Así por ejemplo, el alto número de digestores presentes en Alemania en comparación con otros países de la UE puede relacionarse con un ambiente regulatorio favorable (Wilkinson, 2011) y una institucionalidad altamente operativa.

6.6 Otros aspectos específicos del sector agropecuario

Existen diferencias importantes entre los estratos productivos del sector agrícola, específicamente en la producción pecuaria. Los pequeños y medianos productores pecuarios se diferencian de los grandes en que estos últimos cuentan con un mayor grado de integración; diversificación productiva; buenas herramientas de comercialización y orientación al mercado; uso de equipos y tecnologías; y mayor capacidad de negociación de los precios por volumen de producción.

Independientemente al estrato productivo al que pertenezcan los agricultores, las cuatro grandes barreras expuestas anteriormente llevan al sector entero a considerar que los proyectos para producción de biogás basados en efluentes pecuarios no poseen actualmente un marco normativo claro y preciso, careciendo de aspectos legales fácilmente entendibles para los productores, lo que aumenta el grado de incertidumbre, disminuyendo su interés en invertir en la implementación de la tecnología para la producción de biogás.

Otro aspecto importante es que existe una alta complejidad técnica aún por resolver (ej. diseño de la conexión al sistema troncal) y aspectos limitantes específicos como el apoyo limitado para financiar total o parcialmente la implementación de plantas de biodigestión. Esto es importante sobre todo para las asociaciones y agrupaciones de productores agrícolas, especialmente de

pequeños y medianos productores, quienes operan con márgenes de ingresos monetarios estrechos, capital de trabajo limitado y prácticamente sin garantías financieras, dificultando así su poder negociador frente a la banca y en algunos casos su acceso a fuentes de financiamiento público.

Un factor crítico que enfrentan los productores, y en especial los pequeños y medianos productores, es la coyuntura de los precios de compra de la leche que rige en la actualidad. En este sentido, FEDELECHE ha indicado públicamente que el país no cuenta con un sistema transparente de los factores que inciden en la manera de fijar el precio de la leche producida y entregada a planta por el productor. Ante esto se plantea la necesidad de generar una política que reduzca la incertidumbre con respecto a los precios, de manera de generar incentivos correctos que incrementen la inversión en este importante sector productivo.

Bajo el escenario anteriormente planteado, los productores preferirán la opción de invertir en mejorar sus predios (ej. suelos, fertilización, mecanización, estructuras, etc.), acondicionándolos para generar más volumen de leche, antes de invertir en una tecnología de la que conocen muy poco y cuyo alto grado de incertidumbre no garantiza retornos monetarios a corto plazo. En este sentido una baja rentabilidad económica en el predio limitará la inversión, y a la vez disminuirá la competitividad del sector entero a corto y mediano plazo.

Una opción puede ser reducir los costos asociados al uso de la energía en los predios y salas de ordeña para incrementar sus márgenes de utilidad mediante la implementación de medidas para aumentar la eficiencia energética. Sin embargo, estas medidas suelen ir acompañadas de incorporación de equipos y tecnologías que también requieren de inversión económica y cambios en el manejo de los recursos e insumos y de cambios operativos en el predio.

7. Conclusiones y recomendaciones

El presente informe permitió actualizar la información utilizada durante la postulación del proyecto al ‘Global Environment Facility (GEF)’, incorporando además estimaciones basadas en las evaluaciones realizadas en predios lecheros de las regiones de Los Ríos y de Los Lagos como parte de este proyecto.

De análisis realizado se pudo establecer que existe un desarrollo incipiente de la digestión anaeróbica en el país, en especial en el sector lechero de las regiones de Los Ríos y Los Lagos, foco de este proyecto, lo que requiere de un esfuerzo público y privado para su mayor adopción por parte de los productores lecheros.

Actualmente existen barreras que se deben afrontar para impulsar la industria del biogás en Chile, siendo los principales la conexión de proyectos energéticos a la red; el financiamiento; desarrollo tecnológico; los aspectos regulatorios, formación y capacitación recursos humanos, institucionalidad; y otros aspectos específicos del sector agropecuario. La superación de estas barreras y la creación de más instrumentos de fomento a la implementación de tecnologías para la

generación de biogás a partir de efluentes pecuarios permitirían la adopción de un mayor número de productores en la generación de energía biomásica; mejoraría las capacidades técnicas y productivas de los agricultores que opten por este tipo de tecnología para sus predios; ayudaría a mejorar la gestión de los efluentes pecuarios prediales junto con dar cumplimiento de normativa futura en el tema; dotaría de energía de respaldo para los procesos productivos del predio lechero; y generaría al productor/industria la posibilidad de obtener ingresos extra al vender los excedentes de energía producidos.

Mecanismos de fomento para productores y/o industrias del rubro agropecuario bien diseñados, ayudarían en la adopción de este tipo de tecnologías a nivel regional y nacional. A la vez, aquellos predios y/o industrias agropecuarias que mejoren sus procesos productivos y gestionen de manera eficiente los residuos podrían posicionarse mejor en el mercado. Por tanto, formar a la cadena láctea técnicamente en el tema biogás puede dotar a los predios e industrias de una ventaja competitiva que contribuya a generar valor en el sector agropecuario completo, aportando a la vez a la reducción de GEI.

De acuerdo a las evaluaciones del presente estudio se estimó que la generación de biogás, considerando el número de vacas en ordeña en las Regiones de los Ríos y de Los Lagos, es de 39.166.025 m^3/año, con una producción de 23.891.275 m^3 CH_4/año, equivalente a 238.913 MWh/año, 95.565 MWh/año de producción de energía eléctrica y 215.021 MWh/año de producción de energía térmica. Este es una valor potencial de producción considerando el aporte de todas las vacas en ordeña y usando como base para el cálculo la información generada en el marco de este proyecto.

Para el estrato focalizado por el proyecto de acuerdo al número de animales y territorio, se estimó que las emisiones directas por manejo del estiércol alcanzan a 271,63 Gg CO_2 eq $año^{-1}$. En una situación con biodigestores implementados las emisiones equivaldrían a 49,02 Gg CO_2 eq $año^{-1}$, con un porcentaje de reducción del 82%.

Si bien es cierto, la explotación de bioenergía mediante la producción y utilización de biogás a partir de desechos animales en la zona sur del país es posible, es necesario recalcar que en la zona sur del país existe una baja capacidad de recolección de los mismos. Además, los efluentes ganaderos generados en los predios presentan generalmente bajos contenidos de materia seca. Lo anterior resulta en un bajo potencial de generación de biogás, pudiéndose evaluar la utilización de otro tipo de residuos que complementen y ayuden a mejorar el sustrato base para el proceso de digestión anaeróbica (co-digestión).

La concentración de los desechos en los predios pecuarios ayudaría a mejorar la calidad del sustrato, de ahí que la literatura internacional indique que sistemas con estabulación resultan ser más viables técnicamente para alcanzar un mayor potencial de producción de biogás y por ende una mayor rentabilidad. La colecta de desechos animales u de otro tipo para ser tratados en una planta central también podría ser una opción que ayude en la implementación de un nuevo modelo de negocios en torno al manejo de los residuos pecuarios, sobre todo si las condiciones geográficas, logísticas y sanitarias locales lo permiten.

Actualmente en las regiones en estudio la generación de biogás y su conversión en energía eléctrica para autoconsumo e inyección al sistema interconectado es posible según la actual agenda energética. Sin embargo es necesario que más productores se interesen en implementar plantas de biogás usando como base sus efluentes ganaderos. Para ello se requiere brindar información y formación a todos los actores de la cadena del biogás, sobre todo a aquellos productores lecheros que por su sistema productivo y manejo de efluentes tienen un mayor potencial de generación de biogás (ej. predios con estabulación y/o mayor contenido de materia seca en los purines).

Se debe fomentar el desarrollo de una política en torno al tema biogás en la cual el productor se vea beneficiado al realizar el tratamiento de los efluentes pecuarios a través de sistemas de digestión anaeróbica. Otro aspecto importante será reducir la incertidumbre respecto de las barreras regulatorias, en específico la falta de normativas dirigidas específicamente a la producción, transporte, inyección al sistema, utilización del biogás, así como la seguridad en las plantas de producción del gas, parte de lo cual ya se ha realizado un avance a nivel nacional.

Es importante considerar que un aspecto clave en el desarrollo de la digestión anaeróbica será la formación y capacitación de recursos humanos, en espacial en el sector lechero. Se debe incentivar la formación de todos los miembros de la cadena del biogás en los temas relacionados a la generación y utilización del mismo, lo cual ayudará a aumentar la oferta de tecnologías de calidad, el desarrollo de equipos y maquinaria nacionales y contar con mayor cantidad de sistemas de digestión anaeróbica operativos en predios de las regiones en estudio. Junto con ello la validación de distintas tecnologías de acuerdo a los sistemas productivos lecheros del país será muy relevante para identificar sistemas costo-efectivos para la generación de biogás tanto en sistemas pastoriles como semi o totalmente confinados presentes en la producción de lechera del país.

Bibliografía consultada

- Asociación Alemana de Biogás. 2016. Principal legislación alemana sobre la generación de energía renovable. Disponible online en: www.biogas.org. [Consultado en junio del 2016].
- Banco Central de Chile, Cuentas Nacionales. 2015. Cuentas Nacionales de Chile: PIB Regional 2015.
- Bretscher, D. 2013. Agricultural CH_4 and N_2O emissions in Switzerland. Agroscope Reckenholz Tänikon Research Station (ART), Zürich.
- Canal – Jornal da Bioenergia. 2016. O potencial da produção de biogás. Disponible online en: http://www.canalbioenergia.com.br/opcoes-de-materias-para-producao-de-biogas/ [Consultado en noviembre del 2016].
- Centro para la Innovación y Fomento de las Energías Sustentables. 2016. Reporte CIFES Energías Renovables en el Mercado Eléctrico Chileno. Julio del 2016. Disponible online en http://cifes.gob.cl/wp-content/uploads/2016/07/Reporte_CIFES_Julio.pdf [Consultado en septiembre del 2016].
- Centro para la Innovación y Fomento de las Energías Sustentables. 2012. Disponible online en http://cifes.gob.cl/en/. [Consultado en enero del 2016].
- Centro de Despacho Económico de Carga del Sistema Interconectado Central. 2016. Sección Informes y documentos del CDECSIC. Disponible online en: http://www.cdecsic.cl/informes-y-documentos/informacion-tecnica/ [Consultado en julio del 2016].
- Comisión Nacional de Energía. 2016. Proyecto de equidad tarifaria residencial. Disponible online en: www.camara.cl/pdf.aspx?prmID=47228&prmTIPO=DOCUMENTOCOMISION [Consultado en julio del 2016].
- Comisión Nacional de Energía. 2010. Análisis estratégico de elementos de política para biogases combustibles en Chile.
- Consorcio Lechero. 2015. Indicadores del sector Lechero de Chile. Osorno, Chile.
- FAO, 2010. Greenhouse Gas Emissions from the Dairy Sector, A Life Cycle Assessment. Roma, Italia. 98 p.
- Consorcio Lechero. 2012. Informe estudio caracterización de los productores lecheros, usando bases de datos disponibles. http://www.consorciolechero.cl/chile/docs/informe-estudio-productores-lecheros.pdf [Consultado en Agosto del 2016].
- Dairy Australia. 2012. Dairy Shed Effluent and Biogas. Dairy Australia. 4p. http://www.dairyaustralia.com.au/~/media/Documents/Environment%20and%20Resources/TO%20ARCHIVE/Effluent/Dairy%20Shed%20Effluent%20and%20Biogas.pdf
- Gajardo, N. 2013. Estudio de la producción de biogás en función de la temperatura, en un biodigestor tipo chino. Universidad de Chile. Facultad De Ciencias Agronómicas.
- Gerber, P., Steinfeld, H., Henderson, B., Mottet, A., Opio, C., Dijkman, J., Falcucci, A. & Tempio, G. 2013. Tackling climate change through livestock – A global assessment of

emissions and mitigation opportunities. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome. 115 p.

- Gobierno de Chile. 2015. Intended Nationally Determined Contribution of Chile towards the Climate Agreement of Paris 2015. Disponible online en: http://www4.unfccc.int/submissions/INDC/Published%20Documents/Chile/1/INDC%20Chile%20english%20version.pdf [Consultado en febrero del 2016].
- Gómez, L. 2010. Monitoreo de biogás para la implementación de la red de quema: caso relleno sanitario Santiago Poniente, Santiago de Chile. Pontificia Universidad Católica de Valparaíso. Facultad de Ingeniería. Valparaíso. Chile. Magíster en Ingeniería Ambiental mención Procesos.
- GRA-SAI. 2014. Reducing greenhouse gas emissions from livestock: Best practice and emerging options. 45p.
- Hansen K., Agelidaki, I. & Ahring, B. 1998. Anaerobic digestion of swine manure: inhibition by ammonia. Water Research 32, 5-12
- Hofman, F. (2016). Biogas in Germany, Development, Technology and Benefits. Department of International Affairs, German Biogas Association. Disponible online en: http://ahk.pl/fileadmin/ahk_polen/Erneuerbare_Energien/2016_03_Frank_Hofmann.pdf [Consultado en noviembre del 2016].
- INDUAMBIENTE. 2016. ¿Quién es quién? Revista online disponible en: http://www.induambiente.com/ [Consultado en julio del 2016].
- Instituto de Desarrollo Agropecuario. 2015. Diagnóstico y Caracterización Energética del Sector Lechería en la Región de Los Ríos. Serie estudios y documentos de trabajo Nº 6. Disponible online en: http://www.biogaslechero.cl/bibliotecat/estudios/diagnostico-y-caracterizacion-energetica-del-sector-lecheria-en-la-region-de-los-rios-2015/ [Consultado en septiembre del 2016].
- Instituto Nacional de Estadísticas. 2007. VII Censo agropecuario y forestal, Resultados. Documento online en: http://www.ine.cl/canales/chile_estadistico/censos_agropecuarios/xls/2007/12_rev.xls [Consultado en septiembre del 2016].
- Instituto Nacional de Estadísticas. 2015. Encuesta de ganado bovino 2015. Documento online en: http://www.ine.cl/canales/chile_estadistico/estadisticas_agropecuarias/estadisticas_pecuarias/pecuarias.php [Consultado en septiembre del 2016].
- Instituto Nacional de Normalización. 2005. NCh2880: Compost-Clasificación y requisitos.
- IPCC, 2006. Directrices del IPCC de 2006 para los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero. Capítulo 3: Combustión móvil. 78 p.
- IPCC, 2006. Directrices del IPCC de 2006 para los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero. Capítulo 10: Emisiones resultantes de la gestión del ganado y del estiércol. 91 p.
- IPCC, 2014. Annex II: Glossary [Mach, K.J., S. Planton and C. von Stechow (eds.)]. In: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core

Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, pp. 117-130.

- Jiménez, F. 2015. Diseño de biodigestor para la producción de biogás en planta lechera ubicada en Santiago, Comuna de Padre Hurtado. Pontificia Universidad Católica de Valparaíso. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Mecánica. Quilpué. Chile. Ing Mecánica.
- Lagos, F. 2013. Análisis de factibilidad técnica y económica de la generación de biogás a partir de purines mediante biodigestores anaerobios. Facultad de Ciencias Veterinarias y Pecuarias. Universidad de Chile.
- Leip, A., Weiss, F., Wassenaar, T., Perez, I., Fellmann, T., Loudjani, P., Tubiello, F., Grandgirard, D., Monni, S. & Biala, K. 2010. Evaluation of the livestock sector's contribution to the EU greenhouse gas emissions (GGELS) – final report. European Commission, Joint Research Centre. Disponible online en: http://ec.europa.eu/agriculture/analysis/external/ livestock-gas/full_text_en.pdf. [Consultado en julio del 2016].
- MacLeod, M., Eory, V., Gruère, G. & Lankoski, J. 2015. Cost-Effectiveness of Greenhouse Gas Mitigation Measures for Agriculture: A Literature Review. OECD Food, Agriculture and Fisheries Papers, No. 89, OECD Publishing, Paris. Disponible online en: http://dx.doi.org/10.1787/5jrvvkq900vj-en [Consultado en julio del 2016].
- MAPS Chile. 2014ª. Opciones de mitigación para enfrentar el cambio climático, 06-Sector forestal. 21p.
- MAPS Chile. 2014b. Opciones de mitigación para enfrentar el cambio climático, 08-Sector agropecuario. 28p.
- Ministerio de Medio Ambiente de Chile. 2014. Executive Summary, Chile´s fist Biennial Updated Report to the United Nations Framework Convention on Climate Change, Ministerio de Medio Ambiente de Chile, Climate Change Office. Maval Ltda, Santiago.
- Ministerio Secretaría General de la Presidencia. 2003. Decreto Supremo N° 46: Establece norma de emisión de residuos líquidos a aguas subterráneas.
- Ministerio de Salud. 2003. Decreto Supremo N° 148: Reglamento sanitario sobre manejo de residuos peligrosos.
- Ministerio de Economía. 2006. DFL N°4: Ley 20.018, Ley general de servicios eléctricos.
- Ministerio de Economía. 2006. Decreto Supremo N°244: Reglamento para medios de generación no convencionales y pequeños medios de generación.
- Ministerio de Agricultura. 2007. Contribución de la política agraria al desarrollo de los biocombustibles en Chile.
- Ministerio de Medio Ambiente. 2012. Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental.
- Ministerio de Energía. 2014. Agenda de energía, un desafío país, progreso para todos.
- Moraga, A. 2013. Informe consolidado sobre la promoción del desarrollo de energía a partir de biogás, en una selección de pequeñas y medianas agroindustrias.

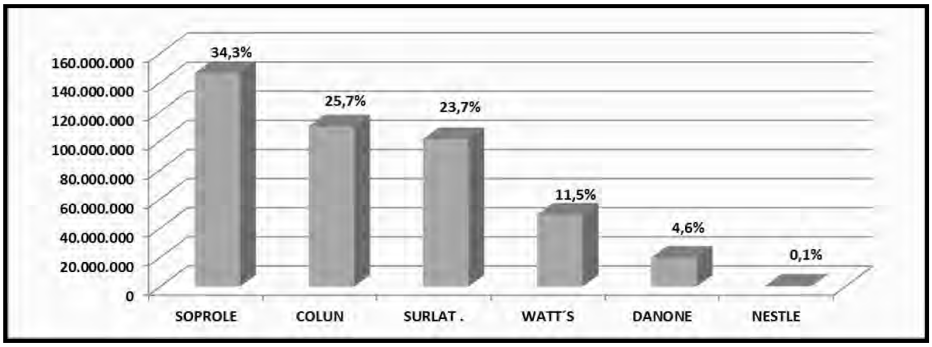
- Moody, L., Burns, R., Bishop, G., Sell, S. & Spajic, R. 2011. Using biochemical methane potential assays to aid in co-substrate selection for co-digestion. Applied Engineering in Agriculture. Vol. 27(3): 433-439.
- Nail, I., Martínez-Lagos, J. & Salazar, F. 2013. Implementación de nuevas tecnologías para uso eficiente de la energía en un predio lechero. Sociedad Chilena de Producción Animal. XXXVIII Congreso de la Sociedad Chilena de Producción Animal 2013. Frutillar 23-25 de Octubre del 2013. SOCHIPA, 2013. p. 239-240.
- Norden, 2014. Nordic initiative to abate methane emissions: a catalogue of best practices. Nordic Council of Ministers, Rosendahl - Schultz Grafisk, Copenhagen, Denmark, 88 p.
- Observ'ER. 2015. The state of renewable energies in Europe edition 2015. Observ'ER (FR); Renac (DE); Institute for Renewable Energy (IEO/EC BREC, PL); Jožef Stefan Institute (SI); ECN (NL); Frankfurt School of Finance & Management (DE). Disponible online en: http://www.eurobserv-er.org/15th-annual-overview-barometer/ [Consultado en noviembre del 2016].
- Oficina de Estudios y Políticas Agrarias. 2016. Estadísticas económicas. Disponible online en: www.odepa.cl/estadisticas/economicas/ [Consultado en febrero del 2016].
- Oficina de Estudios y Políticas Agrarias. 2009. Estudio para la evaluación socioeconómica y ambiental de tres prototipos de biodigestores en predios de pequeños productores lecheros. Disponible online en: www.odepa.cl/wp-content/files_mf/1369752279Estudio_Biodigestores.pdf [Consultado en julio del 2016].
- Rajeshwari, K., Balakrishnan, M., Kansal, A., Lata, K. & Kishore, V. 2000. State-of-the-art of anaerobic digestion technology for industrial wastewater treatment. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 4(2), 135–156.
- Rico, C., Rico, J., Tejero, I., Muñoz, N. & Gómez, B. 2011. Anaerobic digestion of the liquid fraction of dairy manure in pilot plant for biogas production: residual methane yield of digestate. Waste Management (New York, N.Y.), 31(9-10), 2167–73.
- Rodríguez, C. 2012. Producción de biogás a partir del bagazo cervecero. Facultad de Ciencias Agronómicas. Universidad de Chile.
- Roos, K., Martin, J. & Moser, M. 2004. AgSTAR Handbook: A manual for developing biogas systems at commercial farms in the United States, Second edition. US Environmental Protection Agency. EPA-430-B-97-015.
- Safley, L. 1988. Biogas Production from Anaerobic Lagoons, 23(11087), 181–193.
- Safley, L. & P. Westerman. 1990. Psychrophilic Anaerobic Digestion of Animal Manure: Proposed Design Methodologyt. Biological Wastes, 34, 133–148.
- Salazar, F. 2012. Manual de manejo y utilización de purines de lechería. Consorcio Lechero. Osorno, Chile.
- Salazar, F. 2011. Manejo y uso de purines lecheros. Disponible online en: www2.inia.cl/medios/remehue/noticias/Uso_de_Purines_FSalazar.pdf. [Consultado el 09-04-16].
- Salazar, F., Dumont, J., Chadwick, D., Saldaña, R. & Santana, M. 2007. Characterization of Dairy Slurry in Southern Chile Farms. Agricultura Técnica 67(2):155-162.

- Salazar, F., Dumont, J., Santana, M., Pain, B., Chadwick, D. & E. Owen. 2003. Prospección del manejo y utilización de efluentes de lecherías en el sur de Chile. Archivos de Medicina Veterinaria 35(2):215-225.
- Schulte, R. & Donnellan, T. 2012. A marginal abatement cost curve for Irish agriculture. Teagasc. Carlow, Ireland, 54 p.
- Smith, R. 1999. Caracterización de los sistemas productivos lecheros en Chile. En: Anrique, R., Latrille, L., Balocchi, O., Alomar, D., Moreira, V., Smith, R., Pinochet, D., Vargas, G. (eds.). Competitividad de la producción lechera nacional. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Austral de Chile, Valdivia. Capítulo V.
- Sociedad de Fomento Fabril. 2016. Catastro de proyectos de energía. SOFOFA. Disponible online en: http://web.sofofa.cl/informacion-economica/proyectos-de-inversion/sector_economico/energia/ [Consultado el 05-08-16].
- Styles, D., Dominguez, E. & Chadwick, D. 2016. Environmental balance of the UK biogas sector: An evaluation by consequential life cycle assessment. Science of the Total Environment 560–561: 241–253.
- Superintendencia de Electricidad y Combustibles. 2016. Reglamento de seguridad para instalaciones de biogás.
- Superintendencia de Electricidad y combustibles. 2003. NChElec N°4: Instalaciones de consumo de baja tensión.
- Superintendencia de Electricidad y combustibles. 1955. NChElec N°5: Instalaciones eléctricas de corrientes fuertes.
- Superintendencia de Servicios Sanitarios. 2016. Norma Chilena 3375:2015. Digestato, Requisitos de calidad. Disponible online en: www.siss.gob.cl/577/articles-5853_Nch_3375.pdf [Consultada en enero del 2016].
- Surendra, K., Takara, D., Hashimoto, A. & Kumar, S. 2014. Biogas as a sustainable energy source for developing countries: Opportunities and challenges. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 31, 846–859.
- Toro, F. 2016. Producción de metano bioceánico en base a un proceso de dos etapas, utilizando como sustrato paletas de tuna. Universidad de Concepción. Ingeniería Ambiental.
- USDA. 2009. Technical support document for manure management systems: proposed rule for mandatory reporting of GHG. U.S. Department of Agriculture. 20 p.
- Valdovinos, R. 2015. Diagnóstico energético del sector lechería en la región de Los Ríos. INDAP/ Ministerio de Energía. Disponible online en: http://www.indap.gob.cl/docs/default-source/default-document-library/eydt-n6-diag-energetico-losrios.pdf?sfvrsn=0 [Consultado en febrero del 2016]
- Vargas, M. 2013. Marco financiero e instrumento sobre la promoción del desarrollo de energía a partir de biogás, en una selección de pequeñas y medianas agroindustrias. Informe GEF-102.
- Varnero, M. 2011. Manual de Biogás. MINENERGIA / PNUD / FAO / GEF. Disponible online en: www.fao.org/docrep/019/as400s/as400s.pdf [Consultado en abril del 2016]

- Varnero, M., Faúndez, P., & Santibáñez, C. 2004. Evaluación de lodo fresco y compostado como materia prima para la elaboración de sustrato, Actas del Simposio de las Ciencias del Suelo "Residuos Orgánicos y su Uso en Sistemas Agroforestales", 361- 365, Temuco – Chile, 5 a 6 de agosto 2004.
- Varnero, M. 2001. Desarrollo de substratos: Compost y Bioabonos. In: Experiencias Internacionales en la Rehabilitación de Espacios Degradados. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Forestales. Publicaciones Misceláneas Forestales Nº 3, 123p. 21 –30.
- Varnero, M. 1991. Manual de Reciclaje Orgánico y Biogás. Ministerio de Agricultura (FIA) – Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Santiago, Chile.
- Varnero, M. & J. Arellano. 1990. Aprovechamiento racional de desechos orgánicos. Ministerio de Agricultura (FIA). Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Informe Técnico. Santiago, Chile, 98p.
- Villamar, C., Rivera, D., & Aguayo, M. 2016. Anaerobic co-digestion plants for the revaluation of agricultural waste: sustainable location sites from GIS analysis. Waste Management & Research. 1-11.
- Wilkinson, K. 2011. A comparison of the drivers influencing adoption of on-farm anaerobic digestion in Germany and Australia. Biomass and Bioenergy, Vol. 35, 1613-1622.

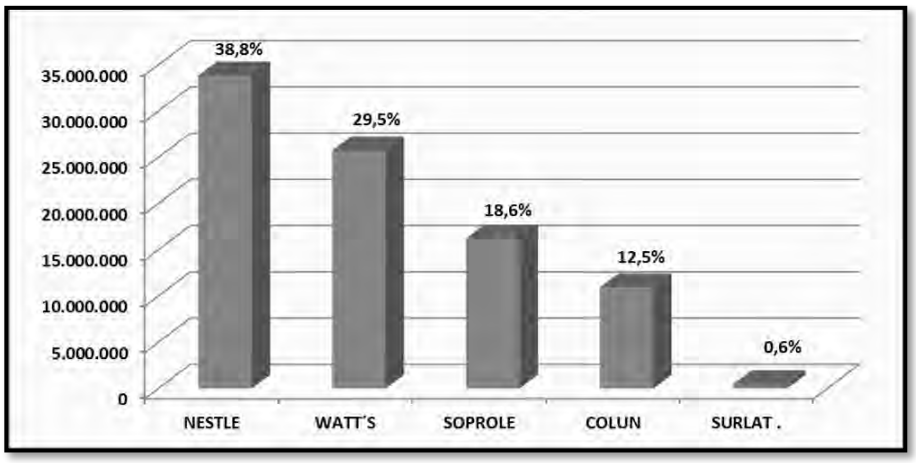
Anexo 1. Participación de industrias lácteas en la generación de diferentes productos de interés.

Imagen A.1. Participación por plantas en la elaboración de leche fluida (L).



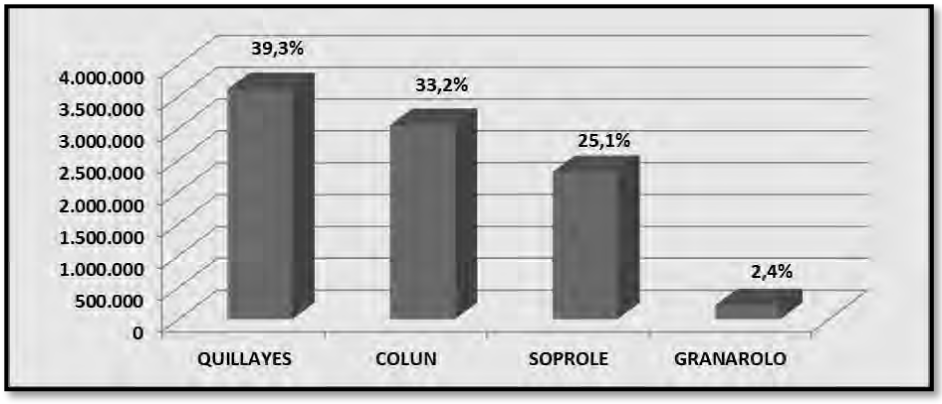
Fuente: Elaboración propia con datos del Boletín Lechero, ODEPA (2016).

Imagen A-2. Participación por plantas en la elaboración de leche en polvo (kg).



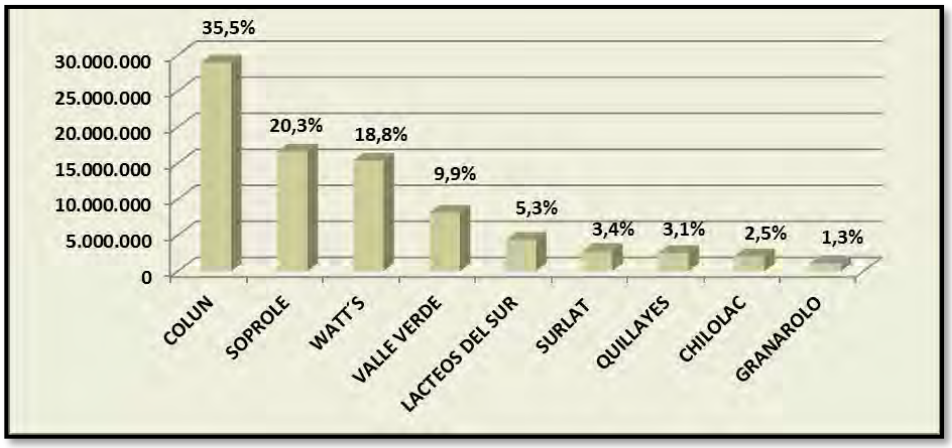
Fuente: Elaboración propia con datos del Boletín Lechero, ODEPA, 2016.

Imagen A-3. Participación por plantas en la elaboración de quesillos (kg).



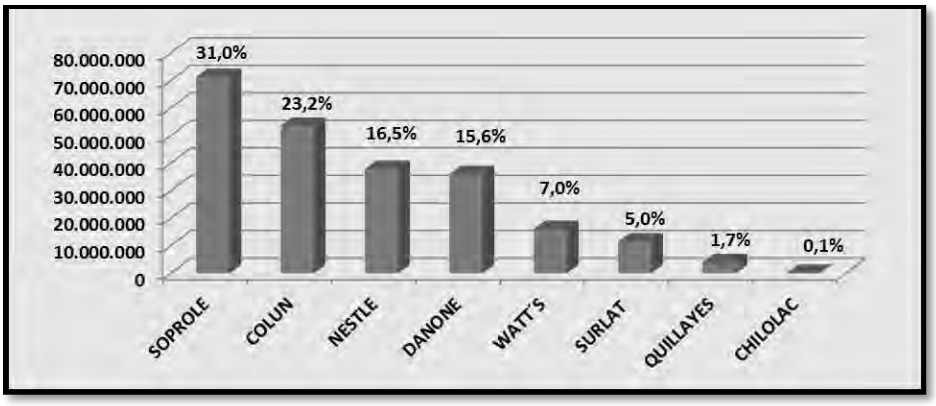
Fuente: Elaboración propia con datos del Boletín Lechero, ODEPA (2016).

Imagen A-4. Participación por plantas en la elaboración de quesos (kg)



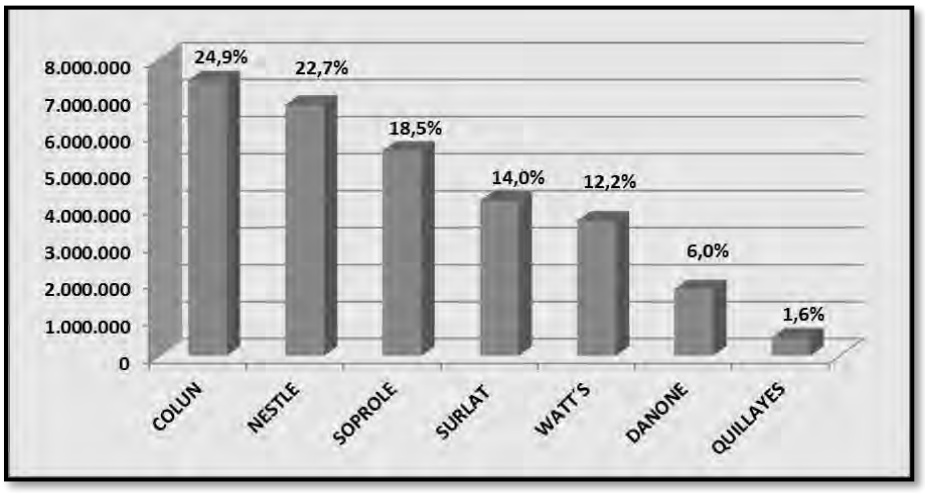
Fuente: Elaboración propia con datos del Boletín Lechero, ODEPA (2016).

Imagen A-5. Participación por plantas en la elaboración de yogur (L).



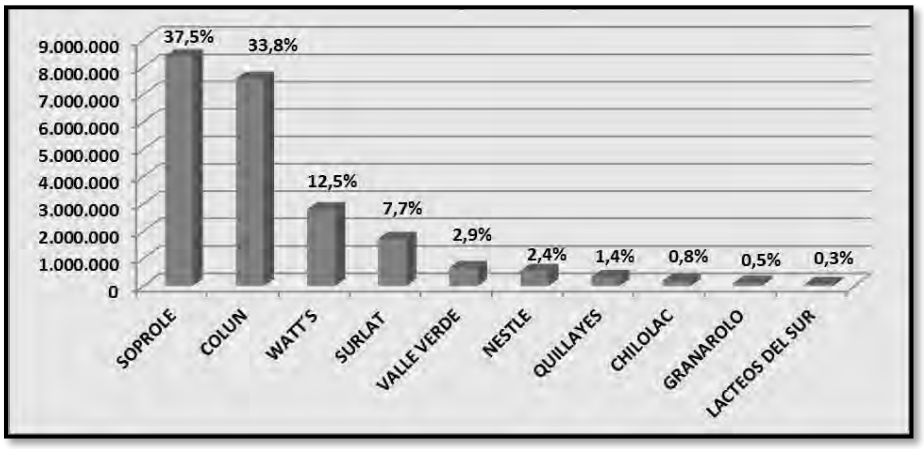
Fuente: Elaboración propia con datos del Boletín Lechero, ODEPA (2016).

Imagen A-6. Participación por plantas en la elaboración de crema (kg)



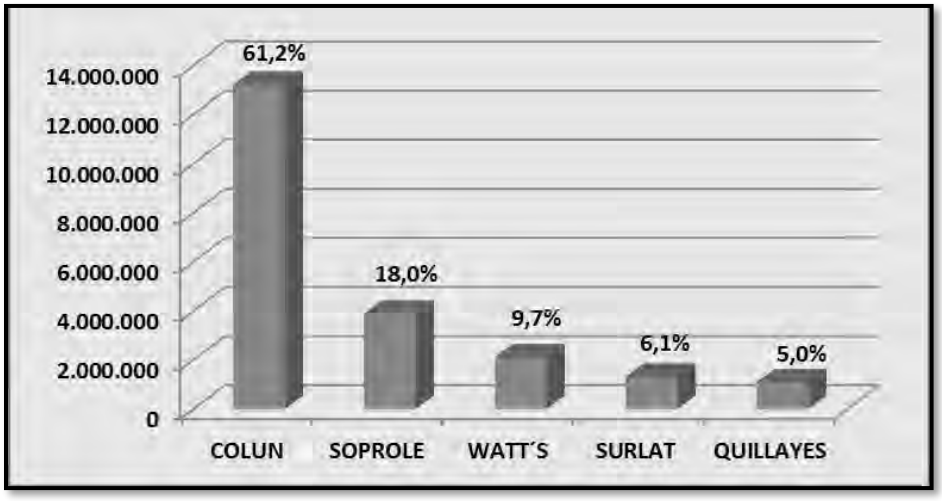
Fuente: Elaboración propia con datos del Boletín Lechero, ODEPA (2016).

Imagen A-7. Participación por plantas en la elaboración de mantequilla (kg)



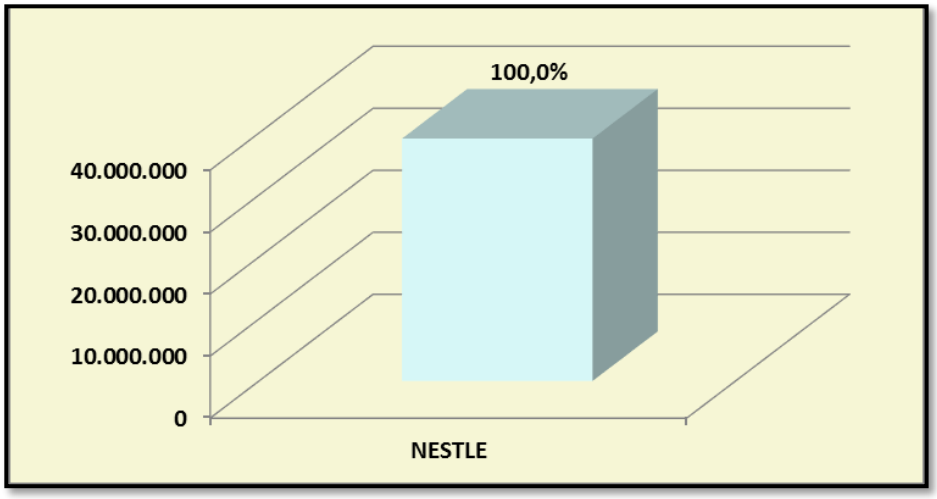
Fuente: Elaboración propia con datos del Boletín Lechero, ODEPA (2016).

Imagen A-8. Participación por plantas en la elaboración de suero en polvo (kg)



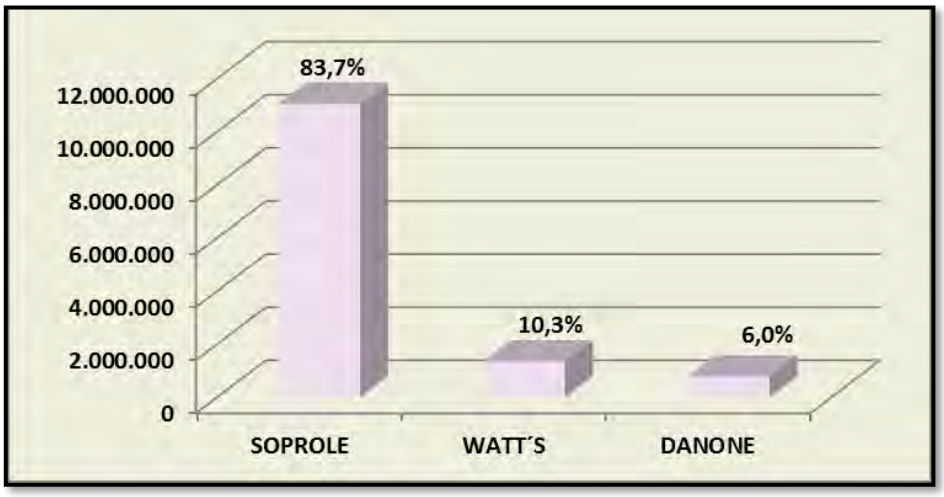
Fuente: Elaboración propia con datos del Boletín Lechero, ODEPA (2016).

Imagen A-9. Participación por plantas en la elaboración de leche condensada (L)



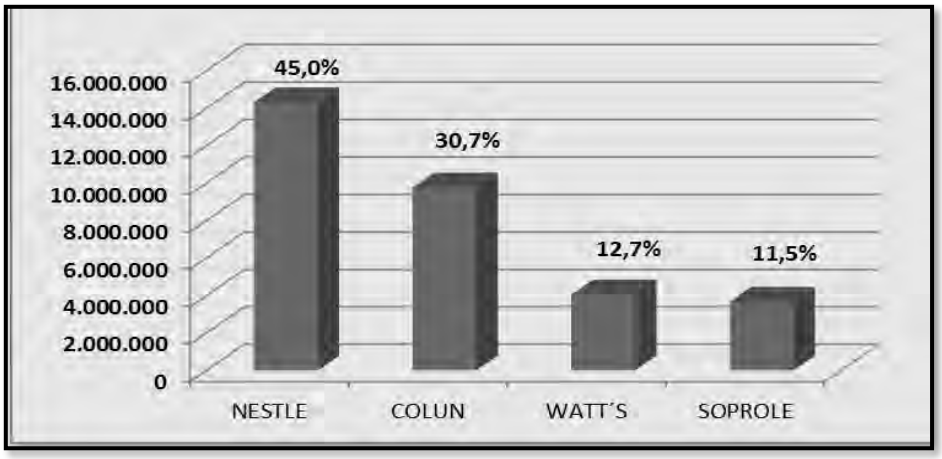
Fuente: Elaboración propia con datos del Boletín Lechero, ODEPA (2016).

Imagen A-10. Participación por plantas en la elaboración de leche cultivada (L)



Fuente: Elaboración propia con datos del Boletín Lechero, ODEPA (2016).

Imagen A-11. Participación por plantas en la elaboración de manjar (kg)



Fuente: Elaboración propia con datos del Boletín Lechero, ODEPA (2016).