



Región de Los Ríos
GOBIERNO REGIONAL
Corporación Regional de
Desarrollo Productivo



Región de Los Ríos
GOBIERNO REGIONAL

INFORME FINAL

“ESTUDIO POTENCIALIDAD DE PRODUCCIÓN DE BIOGÁS PARA LA PRODUCCIÓN DE ENERGÍA TÉRMICA Y/O ELÉCTRICA DEL RELLENO SANITARIO LOS RÍOS, MORROMPULLI”

**Proyecto financiado a través del Fondo de Innovación para la Competitividad
Regional (FIC-R) del Gobierno Regional y su Consejo Regional**

Estudio ejecutado por
Voltari Ingeniería y Negocios Ltda.



Valdivia, Noviembre de 2016

Tabla de Contenidos

1	Resumen Ejecutivo	1
2	Ajuste del estudio.....	3
3	Introducción.....	4
3.1	Identificación del titular	5
3.2	Antecedentes Generales de la Región.....	6
3.3	Biogás de Rellenos Sanitarios	8
3.4	Mecanismos de Generación de LFG	10
4	Preparación del proyecto.....	12
4.1	Definición del Problema	12
4.2	Árbol de Objetivos	13
4.3	Formulación de Acciones.....	14
5	Vertedero Morrompulli	16
5.1	Características operacionales del Vertedero Morrompulli	17
5.2	Caracterización de los Residuos en el Vertedero	18
5.3	Distribución de los residuos en el vertedero.....	20
5.4	Chimeneas de emanación	21
5.4.1	Levantamiento de Chimeneas en 1era Campaña de Medición	21
5.4.2	Levantamiento de Chimeneas en 2da Campaña de Medición.....	22
5.5	Descripción situacional de las chimeneas	23
5.6	Situación construcción de pozos	30
6	Análisis de Mediciones.....	32
6.1	Descripción de Metodología y Equipos de Medición	32
6.2	Análisis de mediciones	34
6.2.1	Influencia de la temperatura y humedad interior y exterior en las chimeneas	34
6.2.2	Comportamiento Temporal de la Composición Química del Biogás	37
6.2.3	Composición Química-Volumétrica del Biogás en las Distintas Chimeneas ..	40

7	Proyección de emanación de biogás.....	43
7.1	Captura de biogás.....	45
8	Propuesta para aumentar tasa de emanación	48
9	Propuestas de valorización del biogás.....	50
9.1	Generación de energía eléctrica.....	51
9.1.1	Parámetros técnicos.....	51
9.1.2	Parámetros económicos.....	53
9.2	Cogeneración de energía eléctrica y térmica.....	56
9.2.1	Parámetros técnicos.....	56
9.2.2	Parámetros económicos.....	57
10	Evaluación económica.....	60
10.1	Supuestos evaluación económica	60
10.1.1	Generación de energía eléctrica.....	60
10.1.2	Generación de energía térmica	61
10.1.3	Tasa de Costo Capital.....	61
10.1.4	Tasa de descuento	63
10.1.5	Impuesto a la renta.....	64
10.1.6	Valores netos	64
10.1.7	Indicadores de rentabilidad.....	64
10.2	Conclusiones económicas.....	65
10.2.1	Evaluación privada.....	65
10.2.2	Evaluación social.....	66
11	Conclusiones	67
12	Referencias	69
13	Anexos	70
	Anexo Económico	70
	Anexo Ubicación Chimeneas	70
	Anexo layout de valorización.....	70

Tabla de Figuras

Figura 1 Distribución Política Administrativa. Fuente: Biblioteca del Congreso Nacional.....	7
Figura 2 Comparación entre metano y otros gases de efecto invernadero (IEA, 2008). *F-gases incluye hidrofluorocarbonos (HFCs), perfluorocarbonos (PFC) y hexafluoruro de azufre (SF6) de varios sectores industriales (Rajaram, Siddiqui, & Khan, 2011).....	8
Figura 3 Patrones Típicos de Generación de LFG (Rajaram, Siddiqui, & Khan, 2011)	9
Figura 4 Valores Típicos en la Generación de LFG. (Rajaram, Siddiqui, & Khan, 2011).....	11
Figura 5 Árbol de Causa - Efecto. Fuente: Elaboración propia.....	13
Figura 6 Árbol de Objetivos. Fuente: Elaboración propia.....	14
Figura 7 Árbol de Acciones. Fuente: Elaboración propia.....	15
Figura 8 Generación de Residuos Sólidos Urbanos, Región de Los Ríos (ton/año). (IASA, 2012).....	18
Figura 9 Caracterización de RSD Región de los Ríos Resumen Regional. (IASA, 2012).....	19
Figura 10 Proyección de Residuos, Región de Los Ríos. (IASA, 2012).....	19
Figura 11 Zonas de acumulación de residuos, Fuente Elaboración Propia, Google Earth	20
Figura 12 Ingreso de residuos en cada zona por año de operación. Fuente: Elaboración Propia.....	21
Figura 13 Ubicación de chimeneas utilizadas para la caracterización del biogás emanado. Fuente: Elaboración Propia.....	22
Figura 14 Chimenea de emanación 1, a) Vista exterior b) Vista Interior.....	24
Figura 15 Chimenea de emanación 2, a) Vista exterior b) Vista Interior.....	24
Figura 16 Chimenea de emanación 3, a) Vista exterior b) Vista Exterior 2	25

Figura 17 Chimenea de emanación 4, a) Vista exterior b) Vista Interior.....	26
Figura 18 Chimenea de emanación 5, a) Vista exterior b) Vista Interior.....	26
Figura 19 Chimenea de emanación 6, a) Vista exterior b) Vista Interior.....	27
Figura 20 Chimenea de emanación 7, a) Vista exterior b) Vista Interior.....	27
Figura 21 Chimenea de emanación 8, a) Vista exterior b) Vista Interior.....	28
Figura 22 Chimenea de emanación 9, a) Vista exterior b) Vista Interior.....	28
Figura 23 Chimenea de emanación 10, a) Vista exterior b) Vista Interior	29
Figura 24 Ubicación de las chimeneas construidas en el Vertedero Morrompulli	30
Figura 25 Procedimiento de construcción de las nuevas chimeneas	31
Figura 26 Variables Influyentes del Caudal en Chimenea 1, a) Gráfico Caudal vs T°, b) Gráfico Caudal vs Humedad	34
Figura 27 Variables Influyentes del Caudal en Chimenea 2, a) Gráfico Caudal vs T°, b) Gráfico Caudal vs Humedad	35
Figura 28 Variables Influyentes del Caudal en Chimenea 5, a) Gráfico Caudal vs T°, b) Gráfico Caudal vs Humedad	36
Figura 29 Variables Influyentes del Caudal en Chimenea 7, a) Gráfico Caudal vs T°, b) Gráfico Caudal vs Humedad.....	36
Figura 30 Variables Influyentes del Caudal en Chimenea 8, a) Gráfico Caudal vs T°, b) Gráfico Caudal vs Humedad	37
Figura 31 Evolución Temporal de la Composición Química del Biogás a) Chimenea 1, b) Chimenea 2	38
Figura 32 Evolución Temporal de la Composición Química del Biogás a) Chimenea 5, b) Chimenea 7	39

Figura 33 Evolución Temporal de la Composición Química del Biogás Chimenea 8	39
Figura 34 Composición Química-Volumétrica del Biogás a) Chimenea 1, b) Chimenea 2	40
Figura 35 Composición Química-Volumétrica del Biogás a) Chimenea 5, b) Chimenea 7	41
Figura 36 Composición Química-Volumétrica del Biogás Chimenea 8.....	41
Figura 37 Proyección de emanación de biogás obtenida mediante el modelo LandGem	43
Figura 38 Proyección de captura de biogás por escenario.....	47
Figura 39 Disposición de las chimeneas de captura y emanación.....	47
Figura 40 Ubicación de laguna de lixiviados y red de inyección propuesta	48
Figura 41 Propuesta de reinyección de líquidos lixiviados.....	49
Figura 42 Proyección de generación de energía eléctrica por escenario	52
Figura 43 Proyección de generación de energía eléctrica y térmica bajo condiciones de escenario I.....	57
Figura 44 Sistema integrado de cogeneración térmico y eléctrico	70
Figura 45 Layout de ubicación de chimeneas y zonas de operación Vertedero Morrompulli	71
Figura 46 Layout propuesta de valorización de biogás mediante generación eléctrica y cogeneración térmica-eléctrica	72

Tabla de Tablas

Tabla 1 Etapas para la Generación de Biogás (Rajaram, Siddiqui, & Khan, 2011)	11
Tabla 2 Coordinadas UTM de chimeneas utilizadas para la caracterización del biogás emanado. Fuente: Elaboración Propia	22
Tabla 3 Coordinadas UTM de las nuevas chimeneas construidas en el Vertedero Morrompulli	30
Tabla 4 Valores típicos de LFG en fase Metanogénica. (Rajaram, Siddiqui, & Khan, 2011)...	33
Tabla 5 Resumen de composición química obtenida mediante mediciones en chimeneas del vertedero Morrompulli.....	42
Tabla 6 Parámetros físicos obtenidos en la medición experimental de biogás por chimenea	42
Tabla 7 Proyección de emanación de biogás obtenida mediante el modelo LandGem.....	44
Tabla 8 Volumen de biogás capturado por año en los tres escenarios propuestos	46
Tabla 11 Costos de inversión y construcción alternativa generación eléctrica	54
Tabla 12 Gastos operacionales alternativa generación eléctrica.....	54
Tabla 13 Costo anual de mantención alternativa generación eléctrica.....	55
Tabla 14 Costos operacionales y de mantención durante la operación del proyecto.....	55
Tabla 15 Costos de inversión y construcción alternativa cogeneración eléctrica y térmica.	58
Tabla 16 Gastos operacionales alternativa cogeneración eléctrica y térmica	58
Tabla 17 Costo anual de mantención alternativa cogeneración eléctrica y térmica	59
Tabla 18 Costos operacionales y de mantención durante la operación del proyecto.....	59
Tabla 19 Valor actual neto en evaluación privada para alternativa de generación eléctrica	65

Tabla 20 Valor actual neto en evaluación privada para alternativa de cogeneración eléctrica y térmica.....	65
Tabla 21 Valor actual neto en evaluación social para alternativa de generación eléctrica ...	66
Tabla 22 Valor actual neto en evaluación social para alternativa de cogeneración eléctrica y térmica	66
Tabla 23 Flujo de caja privado escenario I alternativa generación eléctrica	73
Tabla 24 Flujo de caja privado escenario I alternativa generación eléctrica	74
Tabla 25 Flujo de caja privado escenario II alternativa generación eléctrica.....	75
Tabla 26 Flujo de caja privado escenario II alternativa cogeneración eléctrica y térmica	76
Tabla 27 Flujo de caja privado escenario III alternativa generación eléctrica	77
Tabla 28 Flujo de caja privado escenario III alternativa cogeneración eléctrica y térmica ..	78
Tabla 29 Flujo de caja social escenario I alternativa generación eléctrica	79
Tabla 30 Flujo de caja social escenario I alternativa cogeneración térmica y eléctrica.....	80
Tabla 31 Flujo de caja social escenario II alternativa generación eléctrica	81
Tabla 32 Flujo de caja social escenario I alternativa cogeneración térmica y eléctrica.....	82
Tabla 33 Flujo de caja social escenario III alternativa generación eléctrica	83
Tabla 34 Flujo de caja social escenario I alternativa cogeneración térmica y eléctrica.....	84

1 Resumen Ejecutivo

Los Gases de Rellenos Sanitarios (LFG) son generados como resultado de procesos físicos, químicos y microbianos ocurridos en los desechos. Estos procesos son sensibles a su entorno; por lo tanto, un número de condiciones naturales y artificiales afectan a la población microbiana, por ende, a la generación de LFG.

El Vertedero Municipal Morrompulli, ubicado a 25 Km. de la ciudad, el cual entró en operación el año 1980 y desde 2001 cuenta con Resolución de Calificación Ambiental (RCA) y con fecha 07 de julio de 2003 se modifica la RCA a través de la Resolución Modificatoria N°495.

Actualmente, el vertedero posee un sistema de evacuación de biogás mediante chimeneas, las cuales se encuentran en un estado precario no permitiendo la correcta extracción de biogás. Además, al no existir un sistema de impermeabilización que aisle el vertedero, propicia la emanación de gas incontrolada por todo el cuerpo del vertedero. Finalmente, al haber desconocimiento de la potencialidad energética del biogás almacenado surge un “Desaprovechamiento Energético del Biogás emanado en el Vertedero”. Todo lo anterior permite que el biogás generado en el vertedero no sea manejado de manera correcta, provocando la liberación de gases de efecto invernadero tales como el CH_4 y CO_2 en mayor medida, que contribuyen al calentamiento global.

A raíz del objetivo de establecer un potencial energético del Vertedero Morrompulli, se necesita en primer lugar saber cuánto y en qué calidad está emanando biogás el vertedero. Para lograr este objetivo se realizaron mediciones de los gases que componen el biogás y, además en qué cantidad se está liberando en las chimeneas previamente descritas. Para determinar la calidad del biogás es necesario cuantifico la composición química y se comparó con valores establecidos por bibliografía. De esta manera, se estableció que los gases a medir son los siguientes: Metano (CH_4); debido a combustibilidad, se puede aprovechar para generar energía, ya sea eléctrica y/o térmica.

Este gas entrega un buen indicador de calidad del gas en cuestión. Dióxido de Carbono (CO_2); A pesar de no ser un gas combustible, tiene directa relación con la cantidad de metano yacente en un relleno, se medirá para contrastar esta relación. Ácido Sulhídrico (H_2S); Se medirá este gas debido a su alto grado de peligrosidad, estableciendo así advertencias de acuerdo al nivel presente. Oxígeno (O_2); A pesar de no estar en la tabla 3, medir la presencia volumétrica permitirá establecer qué nivel de infiltración existe de este gas atmosférico en la chimenea. Monóxido de Carbono (CO); Gas nocivo de baja presencia. Sin embargo, se medirá para establecer niveles de peligrosidad.

La proyección de la emanación de biogás del Vertedero Morrompulli se realiza mediante la aplicación del modelo LandGem desarrollado por la Agencia de Protección Ambiental (Environmental Protection Agency, EPA). En el modelo se consideran características del vertedero, composición de los residuos y tasas de aceptación de basura.

Mediante información recopilada en terreno, se establece que, durante el periodo de operación del vertedero, los residuos se han acopiado en tres zonas de forma independiente. Esto tiene directa relación con la base de descomposición metanogénica en que se encuentran los residuos, además permite cuantificar el biogás que ya ha sido emanado a la atmosfera.

El Vertedero Morrompulli posee potencial energético como Energía Renovable No Convencional mediante el aprovechamiento del Biogás que hoy se ventea sin control a la atmósfera, generando contaminación y emisión de gases de efecto invernadero que aportan al calentamiento global de la tierra para la utilización como generador de energía eléctrica y energía Térmica.

Por la generación distribuida considerada en el Reglamento de la ley de Servicios Eléctricos. Es que se genera una oportunidad de negocios mediante producir energía menor escala, que permite la conexión directamente al sistema de distribución. La cogeneración de energía eléctrica y térmica permite desarrollar otra actividad del sector que se propuso para este análisis como es el secado de leña, por estar Valdivia decretada como zona saturada por material particulado PM10.

Del resultado del estudio en su parte inicial se observa que la generación eléctrica es viable tanto en el análisis privado como social y la cogeneración sólo es viable con inversión social.

2 Ajuste del estudio

El estudio que se desarrolla inicialmente comprendía dos etapas de ejecución, siendo la primera el trabajo en terreno, mediciones y modelación de un sistema de manejo de biogás para el actual vertedero Morrompulli y una segunda etapa que correspondía una propuesta sistema de manejo de biogás y su modelación para el futuro Relleno Sanitario de la Región de los Ríos emplazado adyacente al actual vertedero en el sector de Morrompulli. Sin embargo, por indicaciones en reunión con el mandate y profesional de la Unidad de Residuos Sólidos Regional del Gobierno Regional, se instruyó que este parte del estudio no se debía ejecutar, en virtud de que el Relleno Sanitario cuenta con una resolución de calificación ambiental Nro. 077 del 10 de octubre del año 2014, el cuál aprobó el sistema propuesto para el Relleno se adjunta en anexo XX.

En el desarrollo de la iniciativa una vez ejecutado la primera parte del proyecto, se realizó la reunión de presentación de resultados, con la presencia del mandante, profesional de la unidad de residuos sólidos del Gobierno Regional de Los Ríos y Profesional de Secretaria Regional Ministerial de Energía. En esta reunión se discutió referente a la incertidumbre de los resultados entregados por las mediciones en los diferentes sectores de disposición de residuos definidos por Voltari, que producto mal estado de la mayoría de las chimeneas y de la inexistencia de un documento de registro que permita identificar las celdas o secciones de disposición con fechas y volúmenes en los diferentes sectores. Se determinó hacer una nueva campaña de mediciones además de la construcción de al menos 3 chimeneas en los sectores más antiguos como una obra extraordinaria al presupuesto del estudio. Frente la imposibilidad de aumentar los recursos del estudio. El mandante decidió que era imprescindible realizar la nueva campaña de medición y la

construcción de estos pozos de monitoreo de biogás, por lo tanto, se decidió cambiar algunas partidas del estudio para ejecutar la campaña y la construcción de los pozos.

Al definirse como requerimiento del proyecto la necesidad indicada, la Corporación tuvo que pedir autorización a la Municipalidad de Valdivia para realizar una nueva campaña de medición y los trabajos de construcción de los pozos de biogás en zonas confinadas del Vertedero. La tramitación de esta autorización demoró los tiempos del proyecto debiendo ampliarse su plazo de ejecución.

3 Introducción

Debido a la creciente demanda energética y a la sostenida dependencia de combustibles fósiles en Chile, donde la Región de los Ríos no está ajena a esta problemática, es de suma importancia buscar otras alternativas de generación, sustentables y amigables con el medio ambiente. Consiente de esta situación, la Corporación Regional de Desarrollo Productivo de Los Ríos (en adelante indistintamente “La Corporación”) debe propiciar proyectos que tengan como finalidad aportar a la matriz energética de la Región, de esta manera nace la idea de aprovechar el biogás que se producirá en el Relleno Sanitario Los Ríos que, actualmente, está siendo gestionado por la Asociación de Municipios para el manejo integral de Residuos Sólidos de la Región de Los Ríos, para generar energía eléctrica y/o térmica. Sin embargo, antes de embarcarse en un proyecto de tan alta envergadura, se debe realizar un estudio que tenga como objetivo principal determinar la potencialidad energética del biogás existente en el Relleno Sanitario Los Ríos en Morrompulli.

Conforme a lo anterior, el Gobierno Regional de Los Río (GORE), a través de La Corporación, se encuentra ejecutando el **“Estudio Potencialidad de Producción de Biogás para la Producción de Energía Térmica y/o Eléctrica del Relleno Sanitario Los Ríos, Morrompulli”**, el cual apunta a promover el desarrollo energético regional bajo un

compromiso de sustentabilidad, priorizando la diversificación de la matriz energética, potenciando el desarrollo de fuentes alternativas de energía e impulsando políticas regionales de ahorro y eficiencia energética. De esta manera, La Corporación por medio de su portal de internet¹ ha adjudicado a Ingeniería y Negocios Cárdenas y Durán Ltda. (en adelante Voltari) la elaboración del estudio:

“Estudio Potencialidad de Producción de Biogás para la Producción de Energía Térmica y/o Eléctrica del Relleno Sanitario Los Ríos, Morrompulli”

3.1 Identificación del titular

La Corporación Regional de Desarrollo Productivo, es una institucionalidad público-privada, descentralizada, de derecho privado, sin fines de lucro, e instrumento operativo y ejecutor del Gobierno Regional y el Consejo Regional, de gran trascendencia para llevar a cabo las directrices regionales y en suma fortalecer la gerencia estratégica regional.

El rol de esta institución, es formular, implementar y ejecutar, estudios, programas y proyectos estratégicos que favorezcan la consolidación de la Región de Los Ríos como la Nueva Región y a la construcción de un tejido empresarial vigoroso que fortalezca el desarrollo económico local.

Bajo esta línea, la Corporación funciona bajo los siguientes objetivos:

- Promover el desarrollo productivo regional.
- Contribuir al mejoramiento de la competitividad regional.
- Promover la generación y desarrollo de proyectos de investigación, innovación y transferencia tecnológica en la región.
- Promover el desarrollo y la actividad turística regional y su promoción en el extranjero.
- En general, las destinadas a propiciar actividades o iniciativas sin fines de lucro y que contribuyan al desarrollo económico regional.

¹ <http://www.corporacionlosrios.cl/>

La Corporación está dotada de una estructura basada en tres unidades estratégicas y dos unidades de soporte:

- Unidades Estratégicas:
 - Innovación para la Competitividad.
 - Desarrollo Económico Local.
 - Atracción de Inversiones y Proyectos Estratégicos.
- Unidades de Soporte
 - Inteligencia Competitiva.
 - Monitoreo y Seguimiento.

Así la Corporación tiene como rol principal dinamizar y articular los agentes públicos y privados para que sus actividades se conviertan en el pilar de apoyo al emprendimiento, innovación y al desarrollo productivo territorial.

La Corporación es regida por las normas del Título XXXIII del Libro I del Código Civil; por el Reglamento sobre Concesión de Personalidad Jurídica de Corporaciones y Fundaciones, establecido en el Decreto Supremo N° 110, del Ministerio de Justicia; por las disposiciones contenidas en el Capítulo VII de la ley N° 19.175 Orgánica Constitucional sobre Gobierno y Administración Regional; y por sus Estatutos y reglamentos.

3.2 Antecedentes Generales de la Región

La Región de los Ríos (XIV) se ubica entre los $39^{\circ}15'$ y los $40^{\circ}33'$ de latitud sur, y desde el límite con la República Argentina hasta el Océano Pacífico. Las características del relieve presentan una gran cantidad de procesos y formas orográficas. Los diferentes agentes que actuaron en el pasado, especialmente los hielos y la actividad volcánica, originaron la mayoría de las formas que encontramos en la actualidad. Es por esta razón que hoy la región se encuentra dividida en dos sectores diferentes.

El clima que presenta esta región es templado oceánico o lluvioso, con la ausencia de período seco. Desde el punto de vista hidrográfico, esta región se distingue por la presencia de una gran cantidad de ríos cuyas características generales son las suaves pendientes. La vegetación está dada principalmente por el bosque lluvioso y la selva valdiviana.

Respecto de las características de la población, se puede señalar que en 2002 la región tenía 356.396 habitantes, los que principalmente se concentraban en áreas urbanas. La capital regional es Valdivia, ciudad de fuerte relación con inmigrantes y colonización, principalmente alemana, que durante fines del siglo XIX comenzaron a asentarse en la zona, generando una ciudad con rasgos tradicionales respecto de su arquitectura, gastronomía y estilos de vida.

Las actividades económicas se involucran principalmente con la industria forestal, el comercio y la prestación de servicios, éstos últimos presentes en aspectos como su universidad y los centros de investigación. Adicionalmente, el turismo y la actividad gastronómica también son importantes rubros asociados con el sector terciario de la economía.



Figura 1 Distribución Política Administrativa. Fuente: Biblioteca del Congreso Nacional.

3.3 Biogás de Rellenos Sanitarios

Diariamente, millones de toneladas de Residuos Sólidos Domiciliarios (RSD) son depositados en cientos de vertederos y rellenos sanitarios alrededor del mundo. La descomposición de la fracción orgánica del residuo resulta en una generación de los denominados Gases de Rellenos Sanitarios (bien conocidos como Landfill Gas, LFG).

Los LFG son típicamente vistos como responsables de explosiones, olores y, causantes en parte, del cambio climático. Sin embargo, los LFG pueden ser convertidos en activos si los sitios de disposición de RSD son vistos como oportunidades para soluciones energéticas. Cada vez más países están incluyendo regulaciones para la captura de LFG como una estrategia para mejorar la seguridad de los rellenos sanitarios, reducir olores, generar electricidad, reducir emisiones de gases de efecto invernadero (GHG), y ganar Créditos de Carbono.

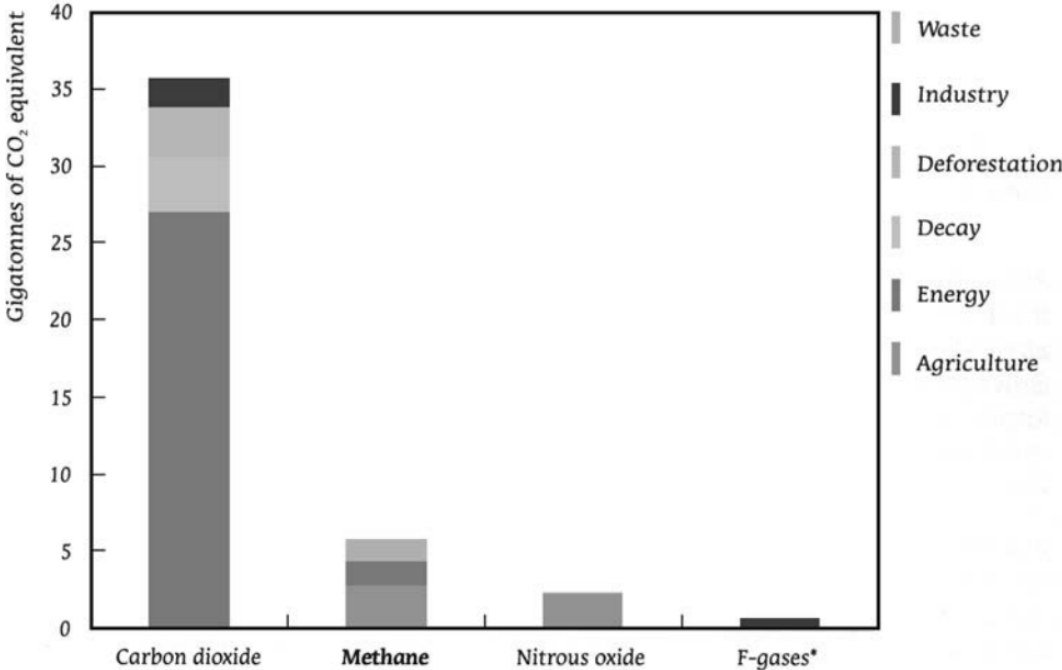


Figura 2 Comparación entre metano y otros gases de efecto invernadero (IEA, 2008). *F-gases incluye hidrofluorocarbonos (HFCs), perfluorocarbonos (PFC) y hexafluoruro de azufre (SF6) de varios sectores industriales (Rajaram, Siddiqui, & Khan, 2011)

En la Figura 2 se muestra una comparación entre metano y otros GHGs. Debido a su alta potencialidad y corta vida atmosférica, manejar las emisiones de metano es un método efectivo para mitigar los impactos inmediatos en el cambio climático.

EL metano es emitido tanto de orígenes antropogénicos como naturales que en conjunto suman el 16% de las emisiones de GHG (Figura 3). Las fuentes de emisiones antropogénicas incluyen agricultura, minera, rellenos sanitarios (14%) y actividades relacionadas a gas natural y petróleo. alrededor de 60% de las emisiones provienen de estas fuentes y el resto de fuentes naturales.

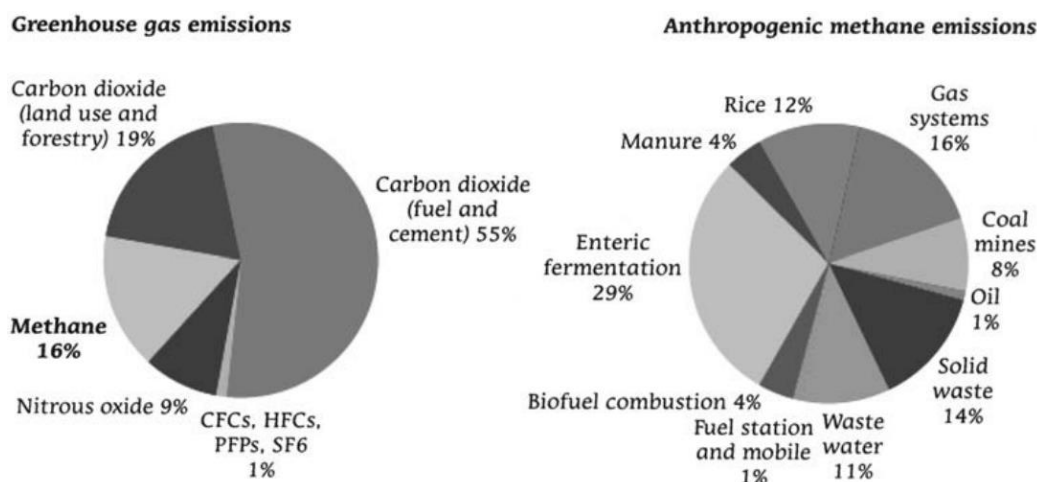


Figura 3 Patrones Típicos de Generación de LFG (Rajaram, Siddiqui, & Khan, 2011)

Reducir las emisiones de metano proporciona un número importante de beneficios, tanto energéticos, seguridad, económicos y medio ambientales. Primero, debido a que el metano es un importante GHG (25 veces más potente que el CO_2 en base a 100 años), y su reducción proporciona importantes progresos a corto plazo en el combate contra el cambio climático. Adicionalmente, el metano es el principal constituyente del gas natural. Por lo tanto, su captación y uso proporciona una apreciable y limpia fuente de energía que promueve el desarrollo económico y reduce a su vez problemas de polución y olores. Generar energía desde el metano recuperado evita en parte el uso de fuentes de energía convencionales, reduciendo las emisiones de CO_2 .

3.4 Mecanismos de Generación de LFG

El LFG es generado como resultado de procesos físicos, químicos y microbianos ocurridos en los desechos orgánicos. Debido a la naturaleza orgánica de la mayoría de los residuos domiciliarios, el método de generación de metano es gobernado por procesos microbianos. Estos procesos son sensibles a su entorno; por lo tanto, un número de condiciones naturales y artificiales afectan a la población microbiana, por ende, a la generación de LFG. Estudios a corto plazo llevados a cabo en grandes rellenos sanitarios utilizando datos de extracciones de LFG indican un rango de generación de LFG entre 0,05 y 0,4 (m^3) de LFG por kilogramo (kg) de residuos dispuestos en un relleno sanitario.

Es importante aclarar que la generación de LFG ocurre bajo condiciones anaeróbicas, por lo tanto, cualquier condición natural o artificial que promueva una condición aeróbica afectará a la generación de LFG. Además, es importante notar que la generación de LFG no es un proceso instantáneo.

Como se indica en la Figura 4 la primera fase, descomposición aeróbica, ocurre inmediatamente después de alojar los residuos, mientras allí oxígeno. La descomposición aeróbica produce dióxido de carbono, agua y calor hasta que el oxígeno presente en los residuos sea consumido. La siguiente fase es llamada anóxica, que es una fase no metanogénica donde se forman compuestos ácidos y gases de hidrógeno mientras que la generación de dióxido de carbono continua; generalmente, este es un proceso de hidrólisis y acetogénico. La tercera fase es una fase metanogénicamente inestable; en esta fase la generación de dióxido de carbono comienza a decaer ya que la descomposición de los residuos se mueve desde una descomposición aeróbica a una descomposición anaeróbica. La descomposición anaeróbica produce agua y calor, pero a diferencia de la descomposición aeróbica, ésta también produce metano. Las bacterias metanogénicas se reactivan en esta fase, utilizando los subproductos de las fases anteriores para producir metano.

Tabla 1 Etapas para la Generación de Biogás (Rajaram, Siddiqui, & Khan, 2011)

Fase	Condición	Periodo de Tiempo
I	Aeróbica	Horas a Semanas
II	Anóxica	1 a 6 Meses
III	Anaeróbica, Metanogénica, Inestable	3 Meses a 3 Años
IV	Anaeróbica, Metanogénica, Estable	8 a 40 Años
V	Anaeróbica, Metanogénica, Declinación	1 a 40+ Años
Total		10 a 80+ Años

Durante la cuarta fase, se genera metano a una concentración entre 40 y 70 por ciento del volumen total; en este proceso la generación de metano es estable. Generalmente, los residuos en los rellenos sanitarios alcanzan la fase metanogénica estable a partir de los dos años después de haber sido depositados.

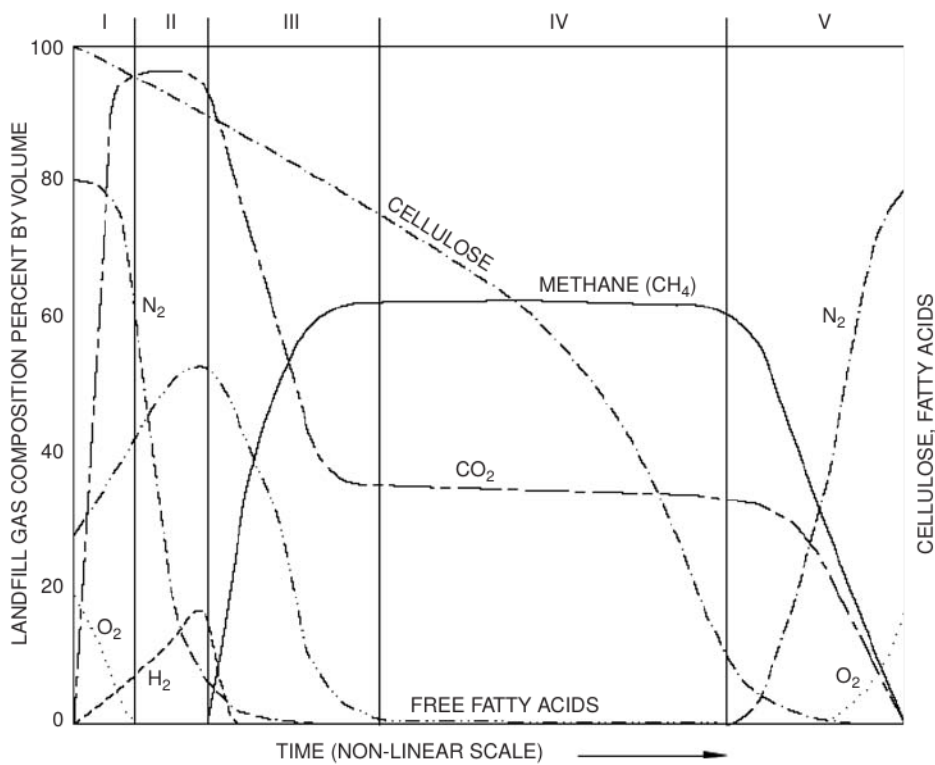


Figura 4 Valores Típicos en la Generación de LFG. (Rajaram, Siddiqui, & Khan, 2011)

4 Preparación del proyecto

Esta sección tiene por objetivo exponer los antecedentes e información que proporcione la pertinencia de ejecución del proyecto.

4.1 Definición del Problema

Actualmente, el vertedero posee un sistema de evacuación de biogás mediante chimeneas, las cuales se encuentran en un estado precario no permitiendo la correcta extracción de biogás. Además, al no existir un sistema de impermeabilización que aisle el vertedero, propicia la emanación de gas incontrolada por todo el cuerpo del vertedero. Finalmente, al haber desconocimiento de la potencialidad energética del biogás almacenado surge un **“Desaprovechamiento Energético del Biogás emanado en el Vertedero”**. Todo lo anterior permite que el biogás generado en el vertedero no sea manejado de manera correcta, provocando la liberación de gases de efecto invernadero tales como el CH_4 y CO_2 en mayor medida, que contribuyen al calentamiento global. Además, por la naturaleza del biogás, éste posee un mal olor y potenciales enfermedades laborales debido a componentes tales como el ácido sulfhídrico (H_2S). Por otro lado, al no haber una utilización de estos recursos energéticos, se desaprovecha una fuente alternativa de ingresos y una ineficiencia en la estructura de costos del vertedero generando un aumento en los costos de disposición. Todo lo anterior, genera una ineficiente operación del Vertedero con una afectación a su entorno.

El árbol de problemas mostrado en la Figura 5 se representa gráficamente lo anteriormente descrito.

4.2 Árbol de Objetivos

El objetivo del Estudio es resolver la problemática identificada, a partir de la solución de una o más causas identificadas. En la Figura 7, muestra en detalle la búsqueda de los objetivos a alcanzar.

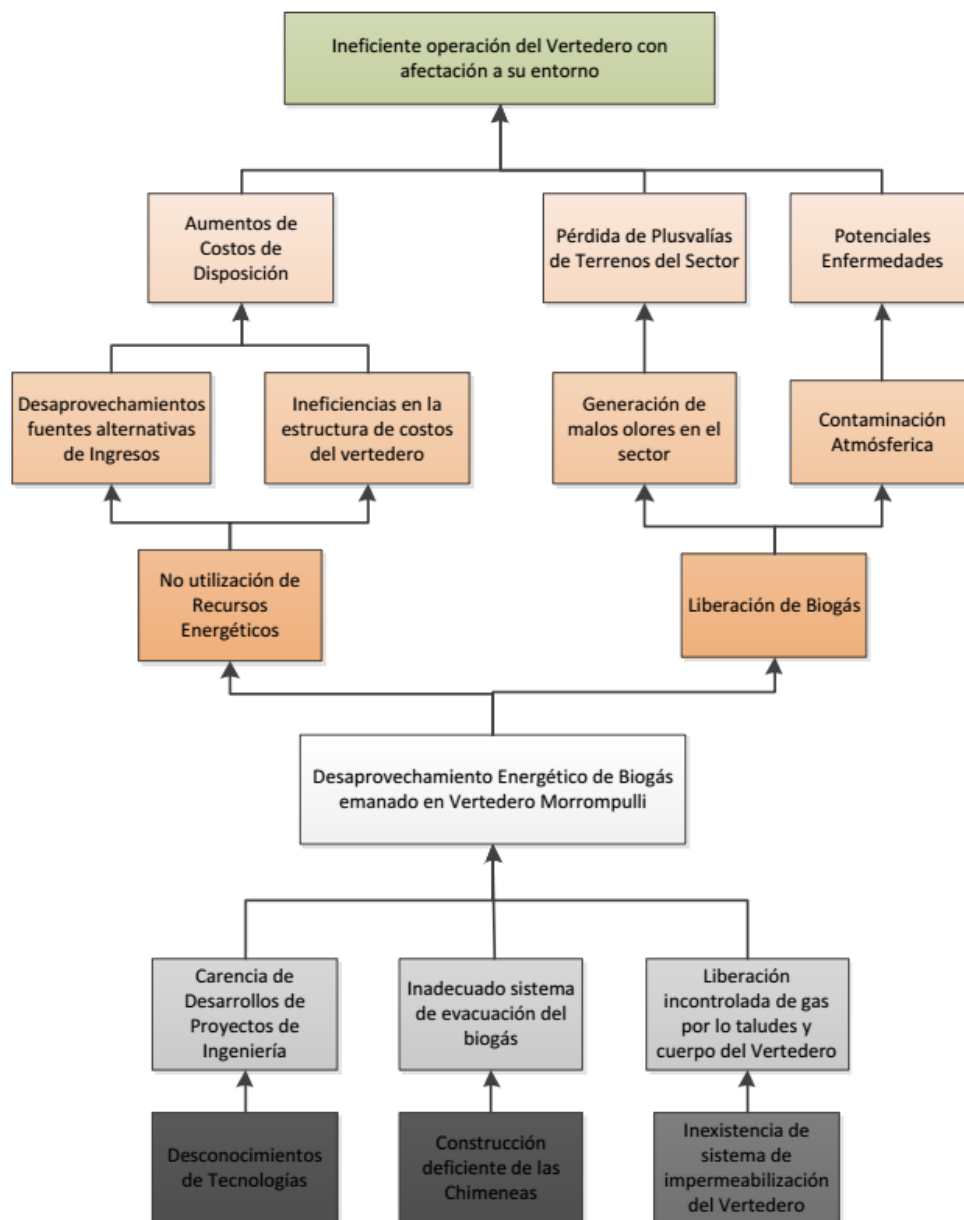


Figura 5 Árbol de Causa - Efecto. Fuente: Elaboración propia.

4.3 Formulación de Acciones

Para mejorar la problemática definida, es necesario influir en forma positiva en una o más causas identificadas en el árbol del problema de la Figura 5.

A partir de soluciones más factibles y comunes, se establece Generar un Estudio que permita mensurar la potencialidad energética del Vertedero.

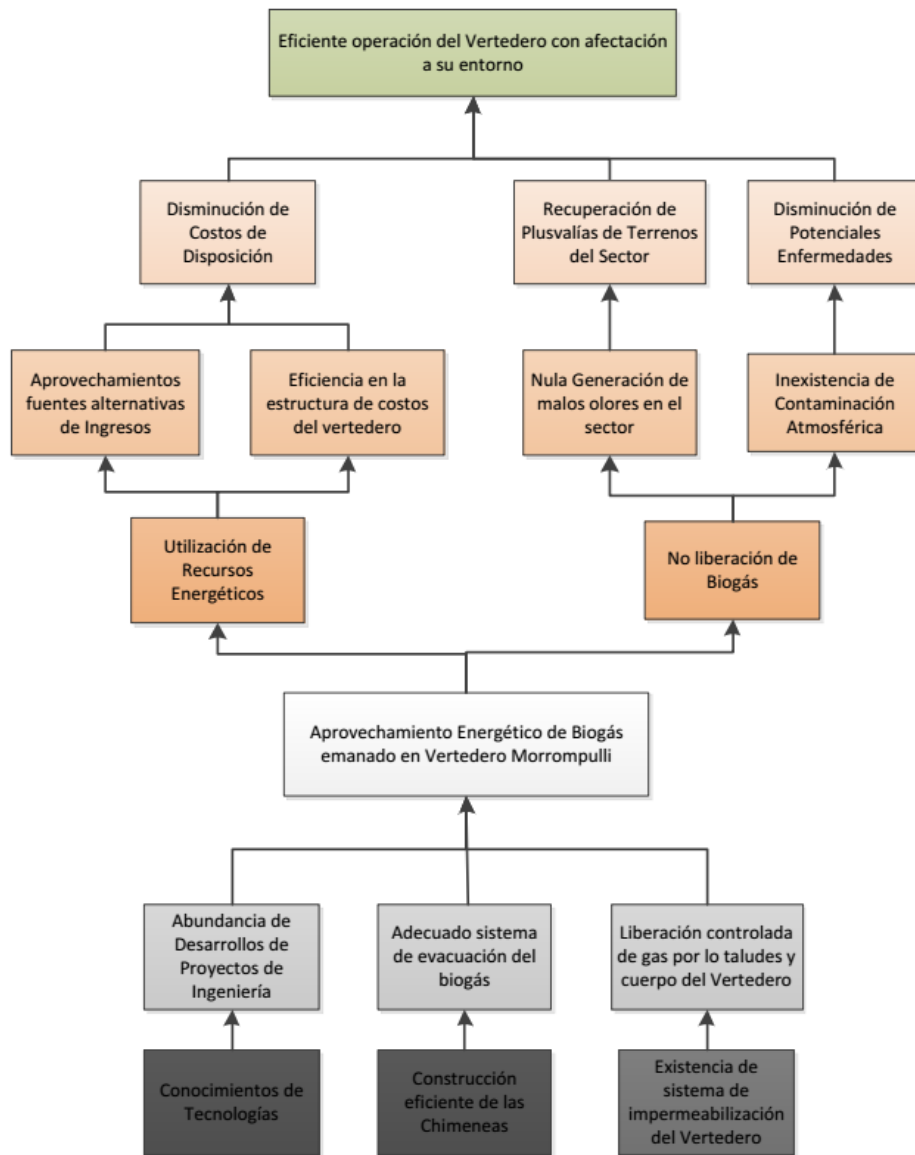


Figura 6 Árbol de Objetivos. Fuente: Elaboración propia.

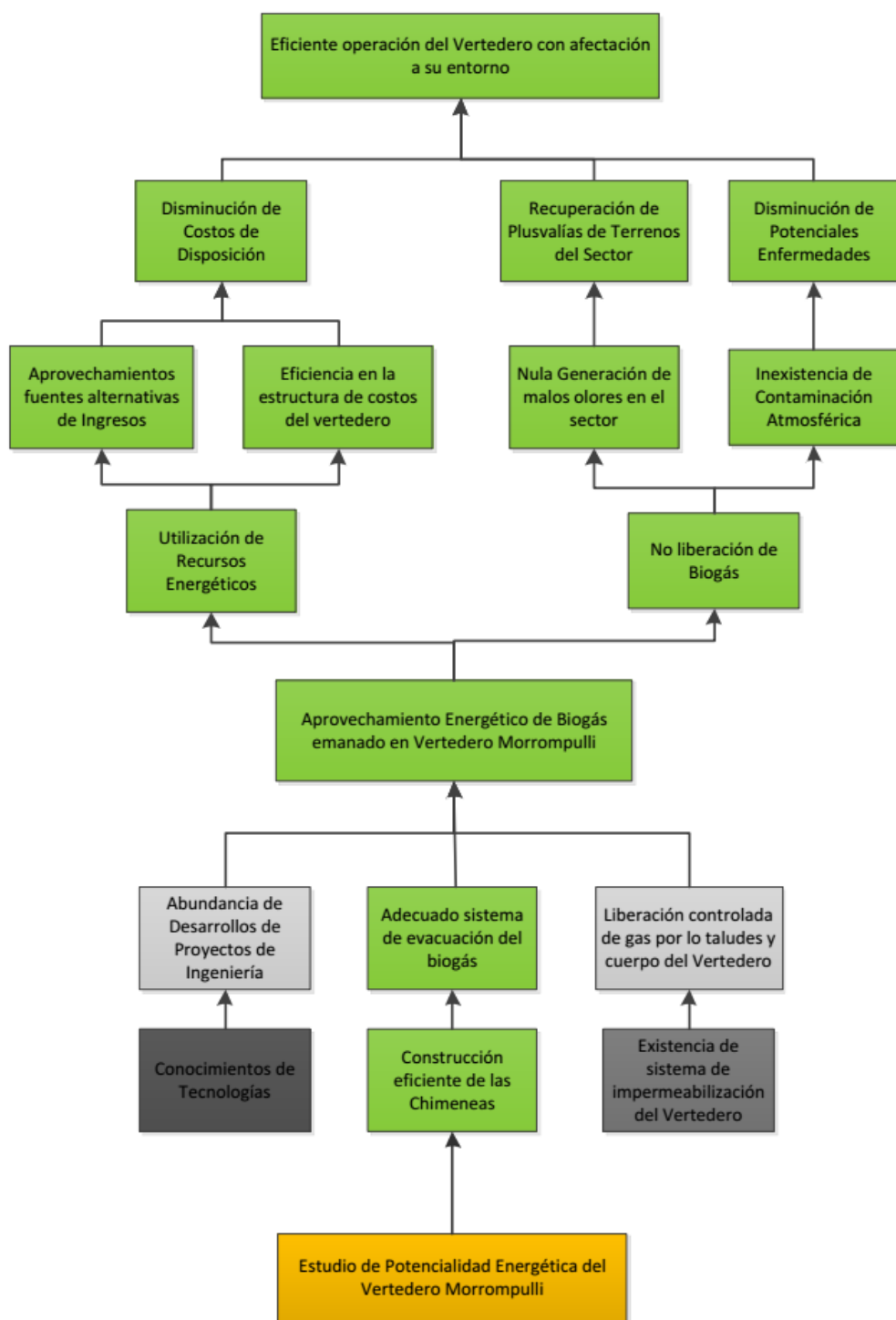


Figura 7 Árbol de Acciones. Fuente: Elaboración propia.

5 Vertedero Morrompulli

El Vertedero Municipal Morrompulli, ubicado a 25 Km. de la ciudad, el cual entró en operación el año 1980 y desde 2001 cuenta con Resolución de Calificación Ambiental (RCA) y con fecha 07 de julio de 2003 se modifica la RCA a través de la Resolución Modificatoria N°495.

Actualmente, el terreno es de propiedad municipal y cuenta con una superficie de 20 hectáreas, los residuos depositados son catalogados de domiciliarios y asimilables a domiciliarios. Según la Declaración de Impacto Ambiental (DIA) del proyecto, el vertedero tiene una vida útil total de 15 años (a partir del año 2001), hasta el año 2016 aproximadamente.

La permeabilidad del subsuelo del terreno es considerada extremadamente baja, debido principalmente por su basamento rocoso del terciario. Por esto que en la zona se considera como despreciable el escurrimiento de las aguas subterráneas.

Con fecha de 25 de mayo del año 2010 se firmó el contrato para que SERVIMAR continúe operando el vertedero por un periodo de 2 años y con posibilidades de extenderse a 2 años más. Proyecto “Manejo sustentable de residuos sólidos para la región de Los Ríos” financiado por el Banco Alemán KfW (Kreditanstalt für Wiederaufbau) y el estado chileno, considera la construcción del relleno sanitario en Valdivia y 3 estaciones de transferencia. El relleno sanitario se emplazará en el sector aledaño al actual vertedero Morrompulli.

5.1 Características operacionales del Vertedero Morrompulli

El vertedero Morrompulli opera con la recepción de residuos mediante camiones compactadores y camiones con tolvas cerradas de operación equipados con brazo telescópico tipo hook lift, estos utilizan contenedores cerrados para acumulación de basura en localidades ruarles y contenedores abiertos desde estaciones de transferencia donde fueron trasvasijados desde camiones compactadores al contendor los residuos que realizan el fenómeno de “esponjamiento” antes de llegar a la disposición. Esto implica que existen diferentes niveles de densidad producto de las disímiles compactaciones que posee los residuos dispuestos. El teatro de operación para la disposición de residuos en el vertedero Morrompulli es complejo, considerando la cantidad de precipitaciones el tipo de camino interior y la geografía de este. Existe complicaciones en algunos momentos para acercar los camiones al frente de trabajo, en desmedro del trabajo de compactación en el frente de trabajo hoy se observa descarga de residuos en altura sin observarse compactación de esta que permita disminuir asentamientos diferenciales y por consiguiente la contención del biogás en el sector.

De la observación hecha en terreno de la operación, registros de otros estudios y el modelo operacional sin programación definida producto del contrato actual a corto plazo que posee el Operador con la Municipalidad, se puede inferir que la forma de acumulación de residuos en los sectores utilizados dentro del predio autorizado para este objeto, no poseen características de homogeneidad en la compactación y en la densidad de los residuos dispuestos.

5.2 Caracterización de los Residuos en el Vertedero

La información recopilada que permitió obtener la caracterización de los residuos sólidos de la Región fueron extraídos del informe final entregado por Ingeniería Alemana S.A. (en adelante IASA) denominado “Centro de Valorización de Materiales Reciclables Los Ríos” Código BIP: 30111219-0.

La caracterización parte con un estimativo de la cantidad de basura en toneladas que ingresa al vertedero actual de Morrompulli. Esta proyección generada por IASA estimó que para el 2009 se ingresaron 101.253 toneladas cuyo aumento se generó de manera significativa para el 2012 con un total de 109.910 toneladas. Esta tendencia creciente se ve reflejada en el gráfico de la Figura 8.

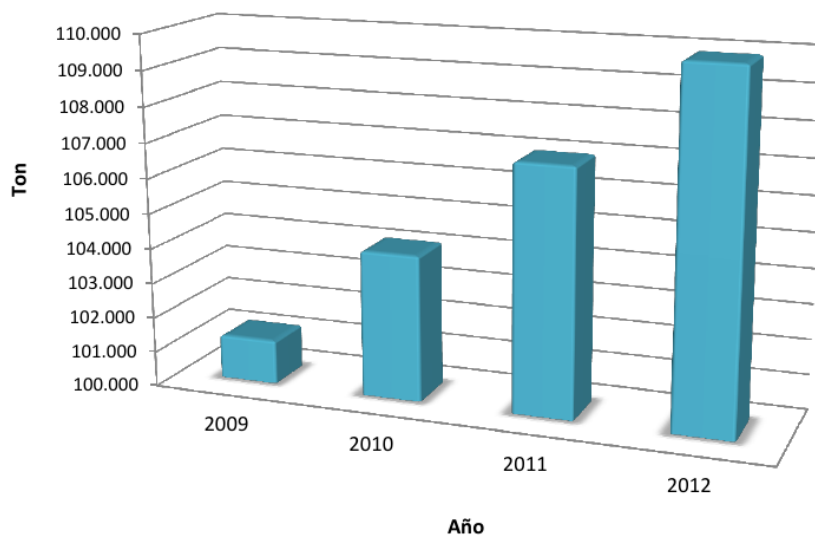


Figura 8 Generación de Residuos Sólidos Urbanos, Región de Los Ríos (ton/año). (IASA, 2012)

La caracterización realizada por IASA permitió esclarecer que la mitad de la basura que es alojada en el vertedero de Morrompulli posee potencialidad energética (Figura 9), ya que proceden de un origen orgánico. Como se describió en la página 10, esta parte orgánica de la basura genera como subproducto biogás tras su descomposición.

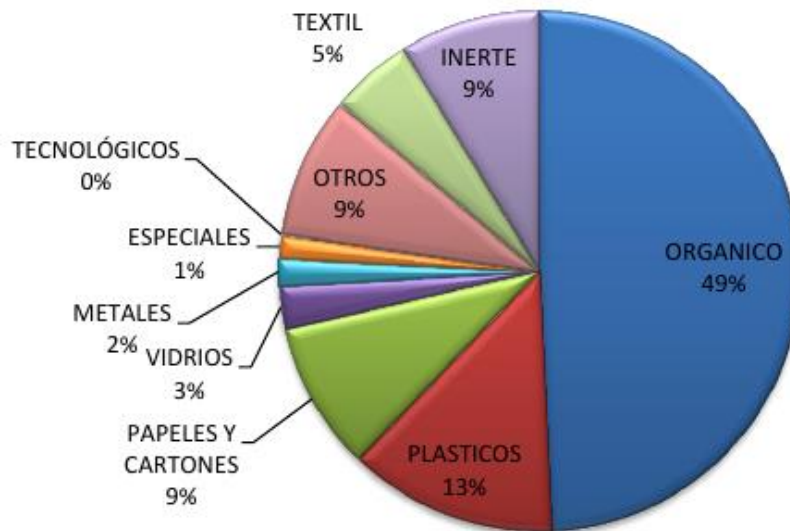


Figura 9 Caracterización de RSD Región de los Ríos Resumen Regional. (IASA, 2012)

Por otro lado, la Figura 10 estima que la proyección de residuos orgánicos, aprovechables para biogás, se mantendrá estable.

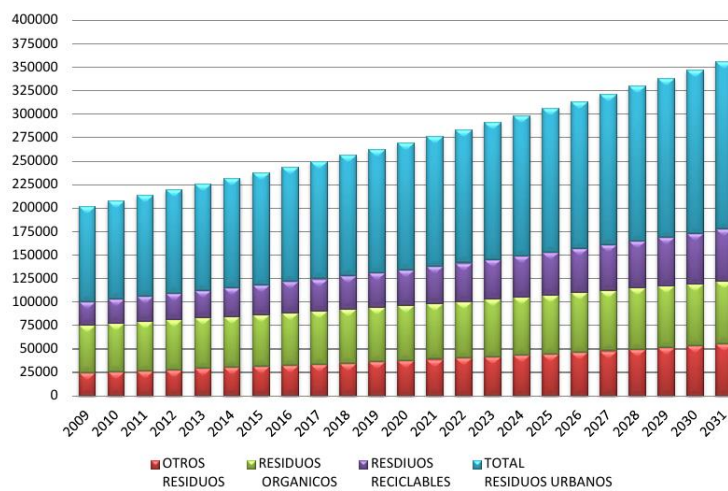


Figura 10 Proyección de Residuos, Región de Los Ríos. (IASA, 2012)

5.3 Distribución de los residuos en el vertedero

De acuerdo a información recopilada en terreno, se determinan tres zonas de acumulación de basura en el transcurso de operación del vertedero. Esto tiene como objetivo determinar el potencial de emanación de los residuos en función al tiempo de descomposición y al biogás que ya ha sido emanado de forma no controlada.

Las zonas identificadas se muestran en la Figura 11 y corresponden a los siguientes años de operación y acumulación.

- **Zona A:** Acumulación desde año 1990 hasta año 1999.
- **Zona B:** Acumulación desde año 2000 hasta año 2009.
- **Zona C:** Acumulación desde año 2010 hasta la actualidad.



Figura 11 Zonas de acumulación de residuos, Fuente Elaboración Propia, Google Earth

La tasa de acumulación de residuos se obtiene de la Declaración de Impacto ambiental del proyecto “Centro de Valorización de Materiales Reciclables Los Ríos” Esta tasa de ingreso de residuos se muestra en la Figura 12

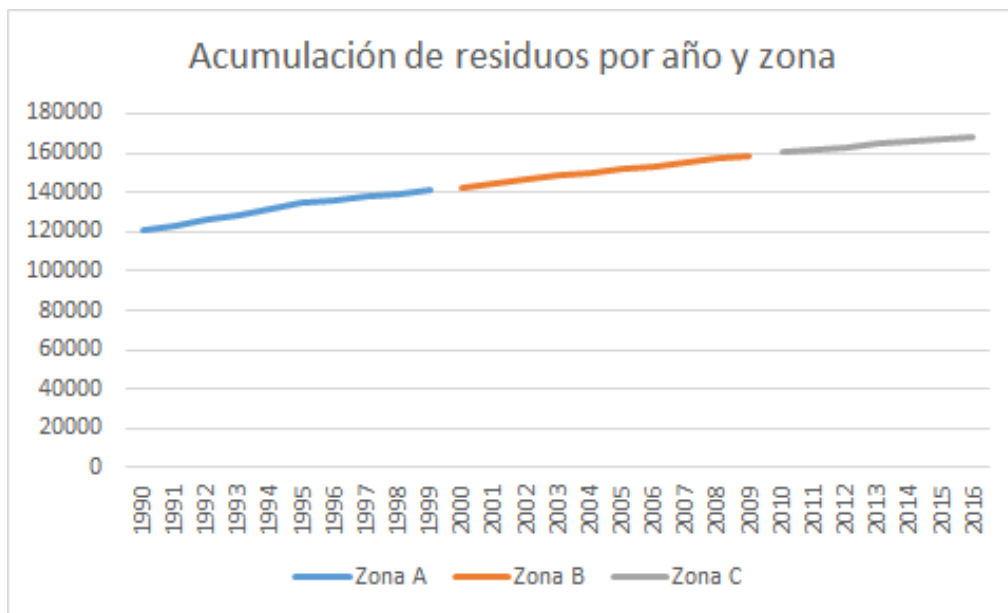


Figura 12 Ingreso de residuos en cada zona por año de operación. Fuente: Elaboración Propia

5.4 Chimeneas de emanación

5.4.1 Levantamiento de Chimeneas en 1era Campaña de Medición

Uno de los objetivos propuestos en el proyecto consistió en cuantificar y caracterizar la emanación de biogás del Vertedero Morrompulli. Para llevar a cabo esto, se analiza la alternativa de medir el biogás que emanan las actuales chimeneas instaladas. En primer lugar, se identificaron 11 chimeneas en total, de las cuales 9 de ellas están ubicadas en la zona de consolidación más antigua (Zona A, chimeneas enumeradas del 3 al 11). Las otras dos chimeneas, 1 y 2, están ubicadas aledañas a la zona actual de acopio (Zona C). No existían chimeneas en la zona consolidada denominada B. En la Figura 13 se muestra la georreferenciación de las chimeneas y en la Tabla 2 las coordenadas UTM de ellas.



Figura 13 Ubicación de chimeneas utilizadas para la caracterización del biogás emanado. Fuente: Elaboración Propia

Tabla 2 Coordenadas UTM de chimeneas utilizadas para la caracterización del biogás emanado. Fuente: Elaboración Propia

Chimenea	Huso	Coord.	
		Este	Coord. Sur
1	18 H	659342	5572405
2	18 H	659279	5572466
3	18 H	659187	5572745
4	18 H	659241	5572770
5	18 H	659218	5572739
6	18 H	659232	5572732
7	18 H	659252	5572743
8	18 H	659264	5572708
9	18 H	659279	5572684
10	18 H	659308	5572686
11	18 H	659307	5572656

5.4.2 Levantamiento de Chimeneas en 2da Campaña de Medición

Al iniciar la segunda campaña de medición a fines de agosto hubo que realizar un nuevo levantamiento, pues las chimeneas algunas desaparecido y además se habían reemplazado por otras por parte del operador en base a requerimientos de una fiscalización realizada por organismo sectoriales del estado.

A lo observado en terreno se agregan los pozos construidos por Voltari, los cuales se emplazaron en las zonas consolidadas A y B. las chimeneas y pozos de medición quedan emplazados de la siguiente forma:



5.5 Descripción situacional de las chimeneas

A continuación, se describe la situación morfológica y funcional de las chimeneas del vertedero. Los análisis preliminares presentados en esta descripción, en conjunto a los resultados mostrados en la página 32 permitirán concluir sobre la continuación en las mediciones de algunas chimeneas, ya que principalmente su generación de biogás es sumamente baja o la presencia de metano es nula. Esto permite enfocar los esfuerzos en las chimeneas que presentan una buena representatividad del biogás alojado en el vertedero.

- **Chimenea 1:** Esta chimenea, Figura 14, presenta un estado morfológico acorde a la funcionalidad de una chimenea para la evacuación de biogás, las medidas tomadas indican una buena representatividad del biogás existente en el vertedero.



a)



b)

Figura 14 Chimenea de emanación 1, a) Vista exterior b) Vista Interior

- **Chimenea 2:** De acuerdo a la Figura 15, esta chimenea posee una considerable emanación del biogás captado, sin embargo, la morfología que posee no la cataloga como chimenea funcional; esto se debe a su apreciable deterioro exterior e interior, lo que dificulta las medidas de biogás por la filtración de gases exteriores en la chimenea.



a)



b)

Figura 15 Chimenea de emanación 2, a) Vista exterior b) Vista Interior

- **Chimenea 3:** Posee un buen estado estructural, sin embargo, la generación de gases es bajísima o prácticamente nula. Además, se encuentra en su parte superior una tapa soldada que dificulta tanto la liberación de los gases como la medición de los gases. Realizar mediciones en esta chimenea se traduce en una dificultosa labor debido a que no existe un terreno sólido para instalar los equipos. Por todo lo anterior, el equipo de trabajo determina que no es factible seguir realizando medidas en esta chimenea, debido tanto a su nula representatividad del biogás existente en el interior del vertedero como a su nivel de dificultad para efectuar las mediciones.



a)



b)

Figura 16 Chimenea de emanación 3, a) Vista exterior b) Vista Exterior 2

- **Chimenea 4:** Se encuentra completamente tapada en su interior, lo que no permite una liberación apropiada de biogás. Se realizaron mediciones para corroborar si existe emanación, arrojando resultados prácticamente nulos. Por lo tanto, el equipo de trabajo decide discontinuar su medición.



a)



b)

Figura 17 Chimenea de emanación 4, a) Vista exterior b) Vista Interior

- **Chimenea 5:** Posee un grado de deterioro que permite la infiltración de gases del exterior como aire que alteran de manera significativa las mediciones, tanto de biogás como caudal de éste. A pesar de esto, las mediciones han dado entregado resultados bastantes bajos en cuando a la calidad de biogás. Sin embargo, se seguirán realizando mediciones en esta chimenea.



a)



b)

Figura 18 Chimenea de emanación 5, a) Vista exterior b) Vista Interior

- **Chimenea 6:** Posee un buen estado estructural, sin embargo, se encuentra tapada por tierra, lo que no permite la emanación de biogás. Se descarta continuar con la medición en esta chimenea.



a)



b)

Figura 19 Chimenea de emanación 6, a) Vista exterior b) Vista Interior

- **Chimenea 7:** Se encuentra en un estado deplorable. Sin embargo, mediciones corroboran un grado aceptable de emanación de biogás. Por lo tanto, se continuarán realizando mediciones.



a)



b)

Figura 20 Chimenea de emanación 7, a) Vista exterior b) Vista Interior

- **Chimenea 8:** Presenta un aceptable estado de conservación exterior e interior, permitiendo la emanación de biogás. La tasa de emanación de biogás se encuentra en un rango aceptable. Se continuarán realizando mediciones.



a)



b)

Figura 21 Chimenea de emanación 8, a) Vista exterior b) Vista Interior

- **Chimenea 9:** posee un buen estado morfológico, sin embargo, en su interior se encuentra tapada que no permite una correcta liberación de biogás. Mediciones iniciales entregaron resultados nulos de biogás. Por lo tanto, no se continuará realizando mediciones.



a)



b)

Figura 22 Chimenea de emanación 9, a) Vista exterior b) Vista Interior

- **Chimenea 10:** Esta chimenea, al igual que la chimenea 9, se encuentra tapada habiendo nula generación de biogás. Por lo tanto, no se seguirán realizando mediciones.



a)



b)

Figura 23 Chimenea de emanación 10, a) Vista exterior b) Vista Interior

Como se indicó en el punto 2 de este informe denominado “ajuste del estudio”, se determinó ejecutar 5 pozos distribuidos en los sectores consolidados nombrados A y B, a objeto de cuantificar y poder determinar la capacidad de generación de ambos sectores. Para construir se estableció en virtud de la capacidad técnica de los equipos, utilizar una excavadora con brazo que permitiera alcanzar una profundidad de 6 metros de profundidad, a fin de instalar tubos corrugados de HDPE perforados de 6 metros de largo y 300 milímetros de diámetro.

La característica de la ejecución de cada uno de los pozos es; una excavación, instalación de 1 a 1,5 m³ de bolones, una tubería de polietileno de alta densidad corrugado de 300 milímetros de diámetros y 6 metros del largo perforado en su 1er cuarto, retorno del material excavado y sellado con material de cobertura.

Tabla 3 Coordenadas UTM de las nuevas chimeneas construidas en el Vertedero Morrompulli

Chimenea	Coordenadas (UTM)	
	m E	m S
CHN1	659244.7610	5572743.2189
CHN2	659240.1199	5572707.7878
CHN3	659276.7121	5572657.7165
CHN4	659316.4410	5572589.5116
CHN5	659344.4731	5572582.7986



Figura 24 Ubicación de las chimeneas construidas en el Vertedero Morrompulli

5.6 Situación construcción de pozos

La construcción de los 5 pozos se realizó el viernes 26 de agosto utilizando los siguientes equipos:

- Excavadora Komatsu PC-200 de 20.010 Kg
- Camión Mercedes Benz Actros 4144 de tracción 8x4 39.074 Kg

El proceso de construcción fue realizado bajo el procedimiento siguiente:

- Corte del material de cobertura para sellado final
- Excavación de aproximadamente 5,2 a 5,6 metros de profundidad
- Acumulación de material
- Instalación de tubo corrugado de 6 metros de largo en posición horizontal
- Descarga de 1,5 m³ de ripio sobre la perforación
- Descarga de material sobrante sobre la perforación
- Sellado con el material de cobertura inicialmente retirado
- Acumulación de material sobrante producto del esponjamiento y reemplazado por los bolones.



Figura 25 Procedimiento de construcción de las nuevas chimeneas

6 Análisis de Mediciones

6.1 Descripción de Metodología y Equipos de Medición

Con el objetivo de establecer un potencial energético del Vertedero Morrompulli, se necesita determinar cuantificar y calificar el biogás emanado en el vertedero mediante las chimeneas. Para lograr este objetivo se realizaron mediciones de los gases que componen el biogás y además en qué cantidad se está liberando en las chimeneas descritas en la página 23.

La composición del biogás emanado en el vertedero, se compara con valores establecidos en la literatura con el objetivo de determinar la calidad del biogás. En la Tabla 4 se aprecian estos valores típicos. De esta manera, se establece que los gases a medir son los siguientes:

- **Metano (CH_4):** debido a combustibilidad, se puede aprovechar para generar energía, ya sea eléctrica y/o térmica. Este gas entrega un buen indicador de calidad del gas en cuestión.
- **Dióxido de Carbono (CO_2):** a pesar de no ser un gas combustible, tiene directa relación con la cantidad de metano yacente en un relleno, se medirá para contrastar esta relación.
- **Ácido Sulhídrico (H_2S):** se medirá este gas debido a su alto grado de peligrosidad, estableciendo así advertencias de acuerdo al nivel presente.
- **Oxígeno (O_2):** si bien, este componente no se muestra en la Tabla 4, medir la presencia volumétrica permitirá establecer qué nivel de infiltración existe de este gas atmosférico en la chimenea.
- **Monóxido de Carbono (CO):** Gas nocivo de baja concentración. Sin embargo, se medirá para establecer niveles de peligrosidad.

Además de los gases antes nombrados, se medirá la temperatura, tanto en el interior de la chimenea, como la temperatura ambiente, la humedad relativa interior y exterior. Así, se evaluará la relación de estos parámetros con el caudal de biogás y su composición química.

Tabla 4 Valores típicos de LFG en fase Metanogénica. (Rajaram, Siddiqui, & Khan, 2011)

Componentes	Cantidad²	
Metano (CH_4)	45 a 58	%
Dióxido de Carbono (CO_2)	32 a 45	%
Componentes Orgánicos no-metano	0 a 0,25	%
Ácido Sulfhídrico (H_2S)	10-200	ppm
Componentes orgánicos volátiles	0 a 0,1	%
Monóxido de Carbono (CO)	0 a 0,2	%
Humedad	>14	%
Hidrogeno (H_2)	< 1	%
Nitrógeno (N_2)	0 a 0,3	%

El protocolo de medición utilizado por el equipo de trabajo fue la realización de mediciones a lo menos dos veces por semana desde la entrada en vigencia del permiso de acceso al Vertedero Morrompulli.

Las mediciones se realizaron bajo las siguientes condiciones:

- Las mediciones se efectuaron entre las 16:00 y 18:00 horas, las cuales fueron acordadas entre la empresa administradora del Vertedero, Servimar, y el Equipo de trabajo.
- El orden de medición fue realizado acorde a la numeración etiquetada a cada chimenea.

² % En base seca, excluyendo contenido de humedad

- Los equipos de medición utilizados se encuentran calibrados bajo normas internacionales.

6.2 Análisis de mediciones

El análisis de las mediciones contrastará la influencia de una serie de variables sobre la generación de biogás, tanto en su caudal como en su composición química.

6.2.1 Influencia de la temperatura y humedad interior y exterior en las chimeneas

El análisis se realizará por chimenea de manera individual para finalmente, concluir de manera general la influencia de estas variables en la generación de biogás.

- **Chimenea 1:** la temperatura interior de la chimenea siempre se mantuvo dentro del rango de 40 a 50 °C, el cual, gráficamente, se puede observar una leve relación con el caudal de generación de biogás. Se observa, además, en el gráfico de la Figura 26a que la temperatura exterior ambiente influyó levemente sobre la generación de biogás, ya que, en los pick de mayor y menor temperatura, hubo una relación directa.

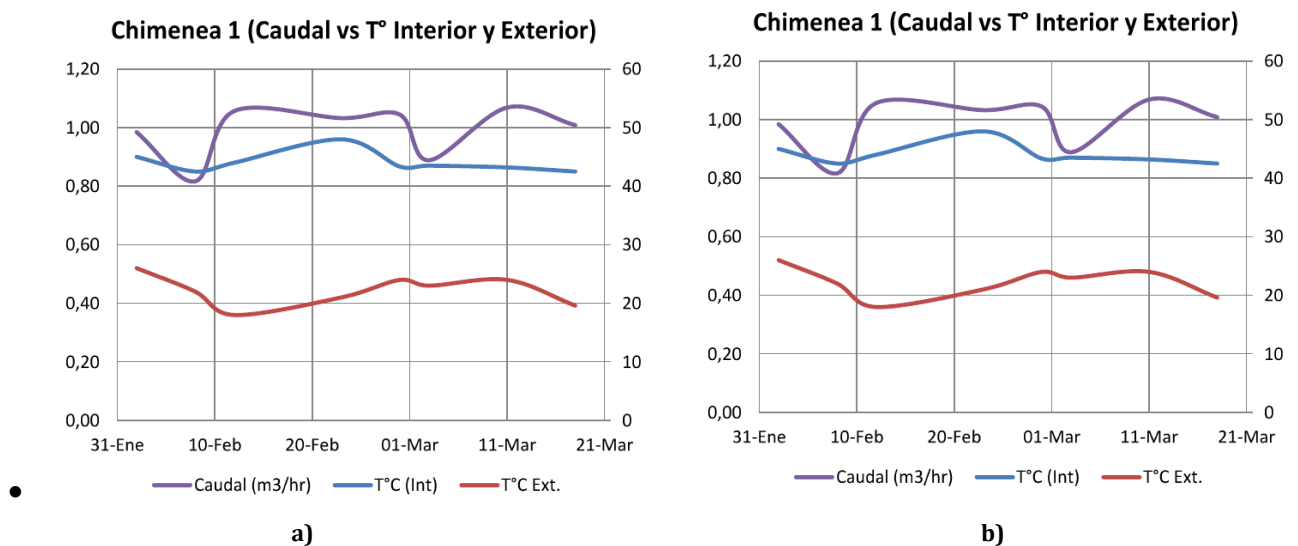


Figura 26 Variables Influyentes del Caudal en Chimenea 1, a) Gráfico Caudal vs T°, b) Gráfico Caudal vs Humedad

En cuanto a la humedad relativa del interior de la chimenea, ésta se mantuvo siempre estable, respondiendo débilmente a la humedad exterior. Es por ello que no tuvo ninguna relación en cuando al caudal generado. Por otro lado, la humedad exterior influyó directamente en la generación de biogás, notándose especialmente en los peak de humedad relativa y caudal de biogás (Figura 26b).

- **Chimenea 2:** Las variables de temperatura y humedad exterior e interior no presentan ninguna relación con la generación de biogás, esto se puede deber a la baja emanación de biogás que se vio fuertemente afectada por la morfología de la Chimenea 2, que ocasionó alteraciones por el viento exterior. Ver página 24

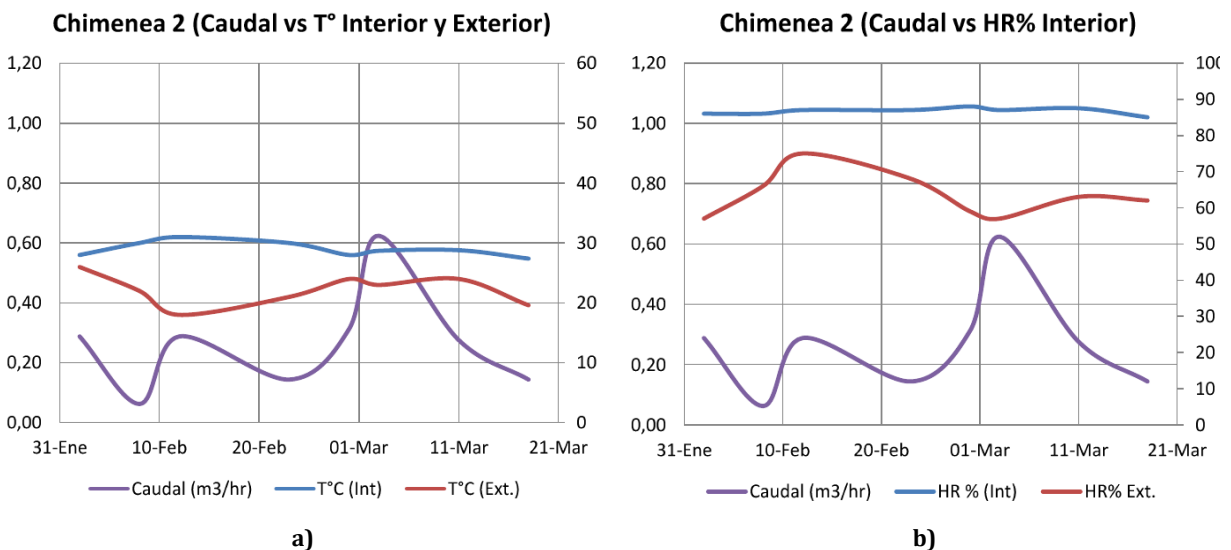


Figura 27 Variables Influyentes del Caudal en Chimenea 2, a) Gráfico Caudal vs T°, b) Gráfico Caudal vs Humedad

- **Chimenea 5:** A pesar de que la chimenea 5 posee una generación baja de biogás, se refleja una directa relación entre la generación de biogás con la temperatura interior de ésta y la humedad relativa exterior. Ver gráficos de la Figura 28

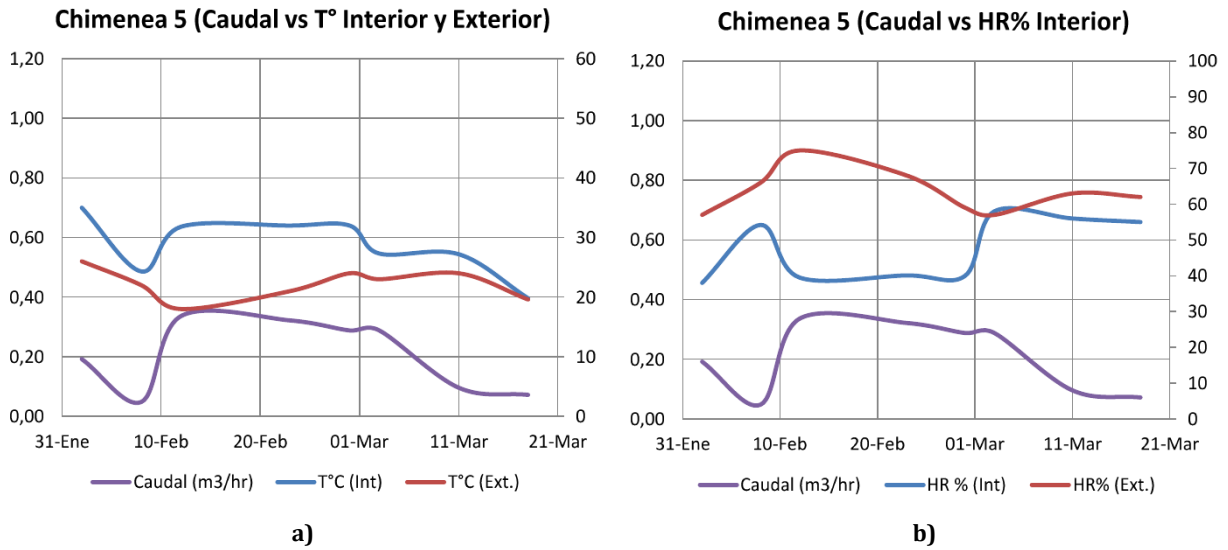


Figura 28 Variables Influyentes del Caudal en Chimenea 5, a) Gráfico Caudal vs T°, b) Gráfico Caudal vs Humedad

- Chimenea 7:** Las mediciones de esta chimenea indicaron que ambas temperaturas, interior y exterior poseen una relación directa con la generación de biogás, aunque cabe destacar que esta generación fue baja en todas las mediciones. Sin embargo, en cuando las humedades relativas no se aprecia ninguna relación con el caudal de biogás. Ver Figura 29

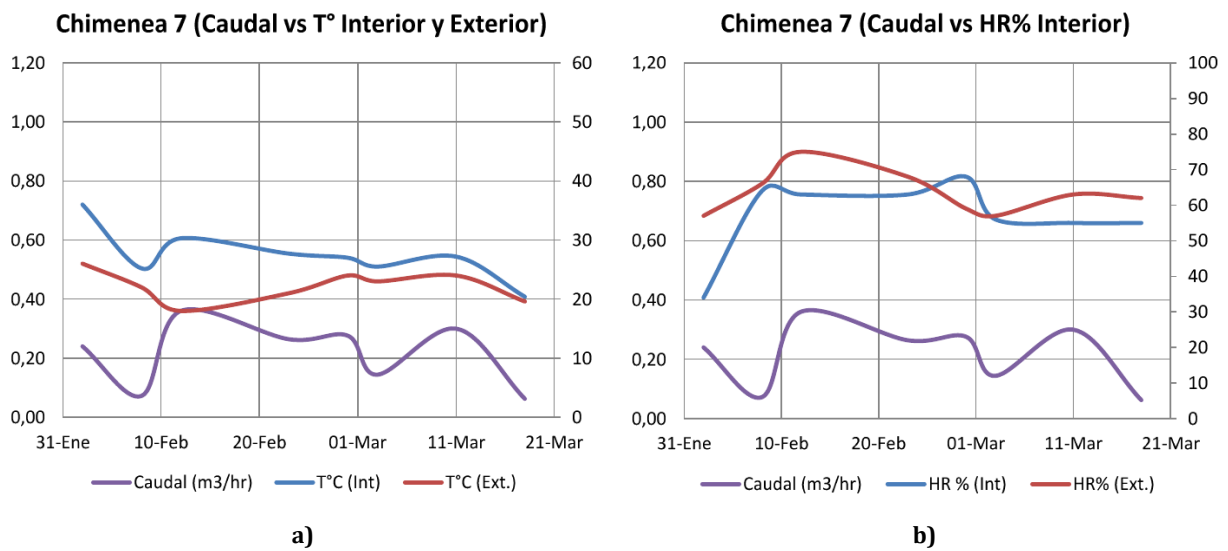


Figura 29 Variables Influyentes del Caudal en Chimenea 7, a) Gráfico Caudal vs T°, b) Gráfico Caudal vs Humedad

- **Chimenea 8:** Al igual que la chimenea 7, esta chimenea presenta una baja generación de biogás, presentándose igualmente una relación de la generación con las temperaturas medidas. Por otro lado, no se evidencia relación alguna con las humedades relativas medidas. Ver gráficos de la Figura 30

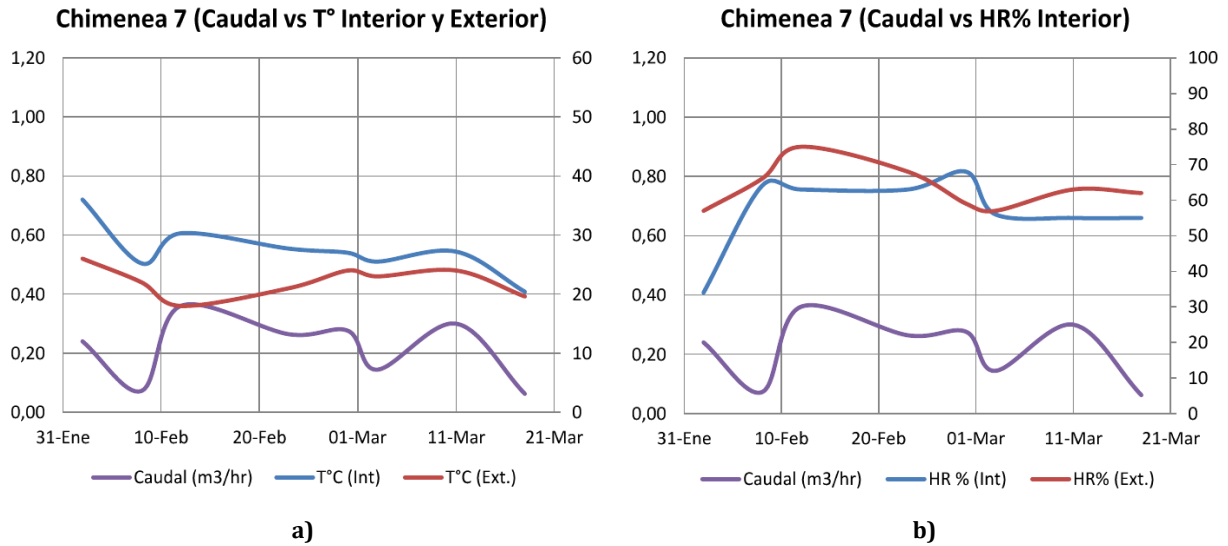


Figura 30 Variables Influyentes del Caudal en Chimenea 8, a) Gráfico Caudal vs T°, b) Gráfico Caudal vs Humedad

6.2.2 Comportamiento Temporal de la Composición Química del Biogás

- **Chimeneas 1 y 2:** Es importante el análisis químico que se puede rescatar de las primeras dos chimeneas del Vertedero, ya que además ser las más representativas y funcionales de todas las restantes, permite obtener valores reales tanto de composición química como caudales de generación de biogás que existe en el vertedero. El gráfico Figura 31a permite observar la excelente calidad que posee el biogás del vertedero, alcanzado valores límites superiores establecidos por la literatura, es decir un 60% (CH_4). Cabe observar, además, que la calidad había ido aumentando sosteniblemente. Este comportamiento se le atribuye, según el equipo de trabajo, a las precipitaciones y las altas temperaturas acaecidas durante el mes de marzo. Esta conclusión se ve claramente reflejada en el comportamiento

químico de la Chimenea 2, gráfico Figura 31b, donde después de tener bajos porcentajes de (CH_4) durante el mes de febrero y mitad de marzo, se observa un considerable incremento de esta calidad en la última medición. Cabe informar que las precipitaciones caídas durante los días 16 y 17 de marzo de 2016 fueron en promedio 4 mm³.

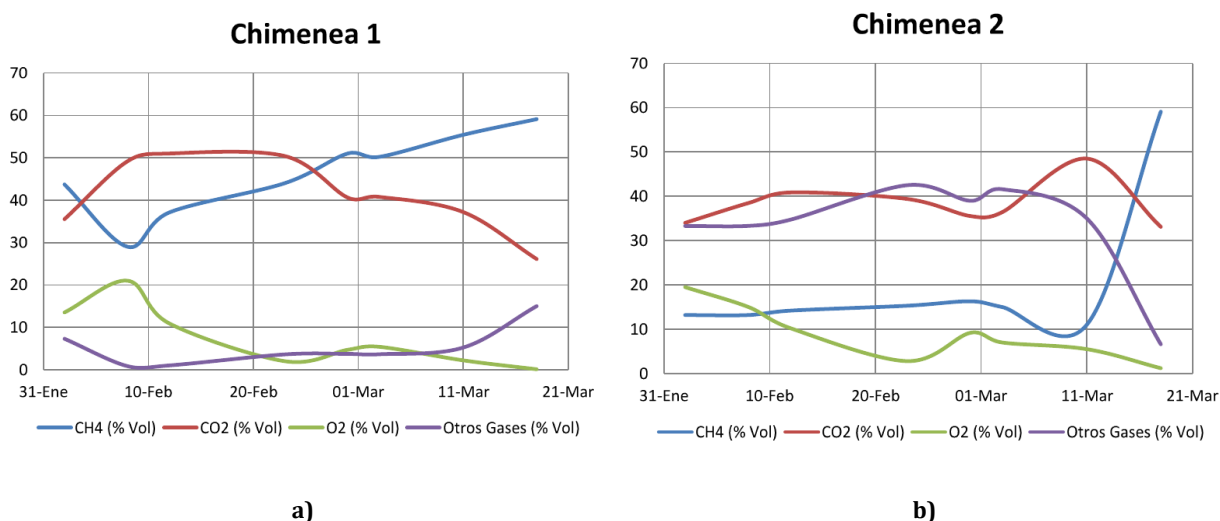


Figura 31 Evolución Temporal de la Composición Química del Biogás a) Chimenea 1, b) Chimenea 2

- Chimeneas 5 y 7:** El gráfico Figura 32a permite analizar que no existe ninguna variación en la composición química de los gases emanados. Sin embargo, y como se verá más adelante, los gases de interés fueron bajísimos, el metano sólo alcanzó a llegar al 1% del total. La chimenea 7, gráfico Figura 32b a pesar de poseer baja emanación de biogás, su generación presenta un leve crecimiento en la última medición.

La chimenea 7 posee una baja generación de (CH_4), alrededor del 4% del volumen. De esta manera se puede determinar que un 4% del caudal medido pertenece a metano, cerca de 3 litros de metano por hora.

³ Información extraída de la Estación Meteorológica de la Universidad Austral de Chile.

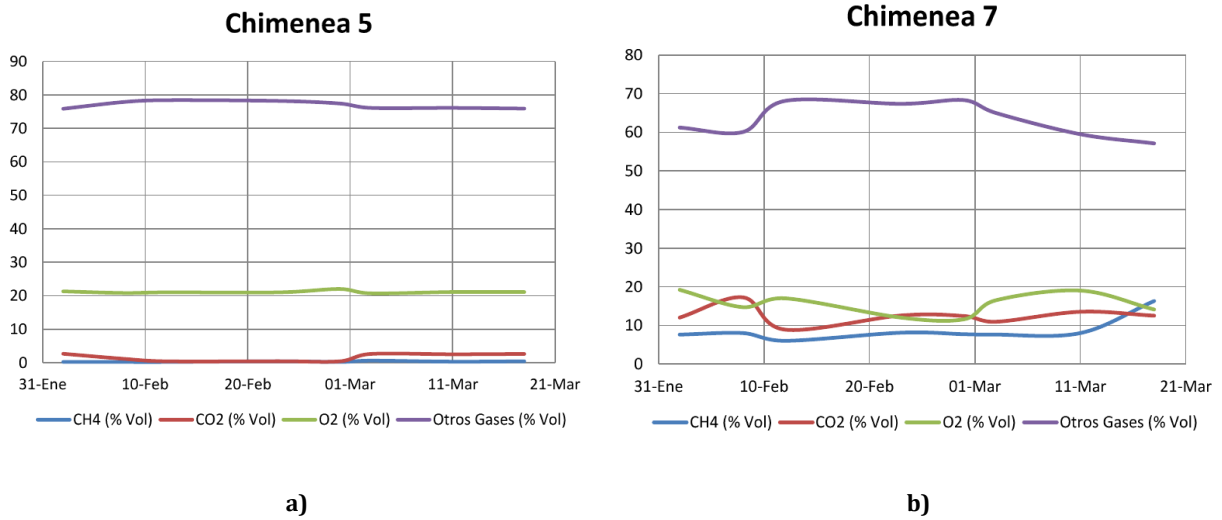


Figura 32 Evolución Temporal de la Composición Química del Biogás a) Chimenea 5, b) Chimenea 7

- Chimenea 8:** Esta chimenea presenta igual comportamiento que la chimenea 7, donde se aprecia un leve crecimiento del porcentaje de volumen de metano en la última medición.

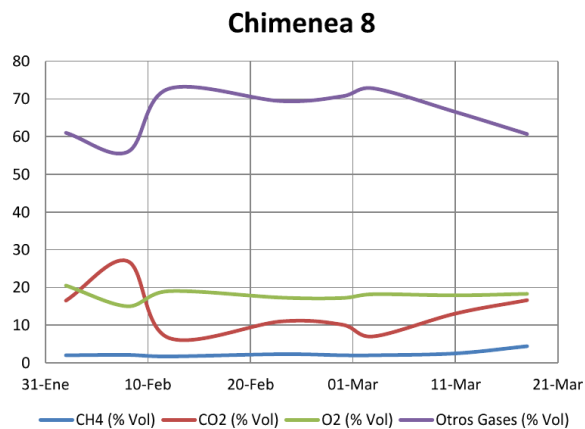


Figura 33 Evolución Temporal de la Composición Química del Biogás Chimenea 8

6.2.3 Composición Química-Volumétrica del Biogás en las Distintas Chimeneas

- **Chimeneas 1 y 2:** Como se dijo anteriormente, la chimenea 1 posee altos niveles de CH_4 como gas de interés. Durante las mediciones, éste gas logró niveles promedio de 49% de volumen del biogás, seguido por el Dióxido de Carbono, con un 40%. En cambio, la chimenea 2 posee niveles bajos de CH_4 acorde a los valores bibliográficos. Sin embargo, estos valores pueden estar alterados por la filtración mayoritaria de Oxígeno por las paredes de la chimenea.

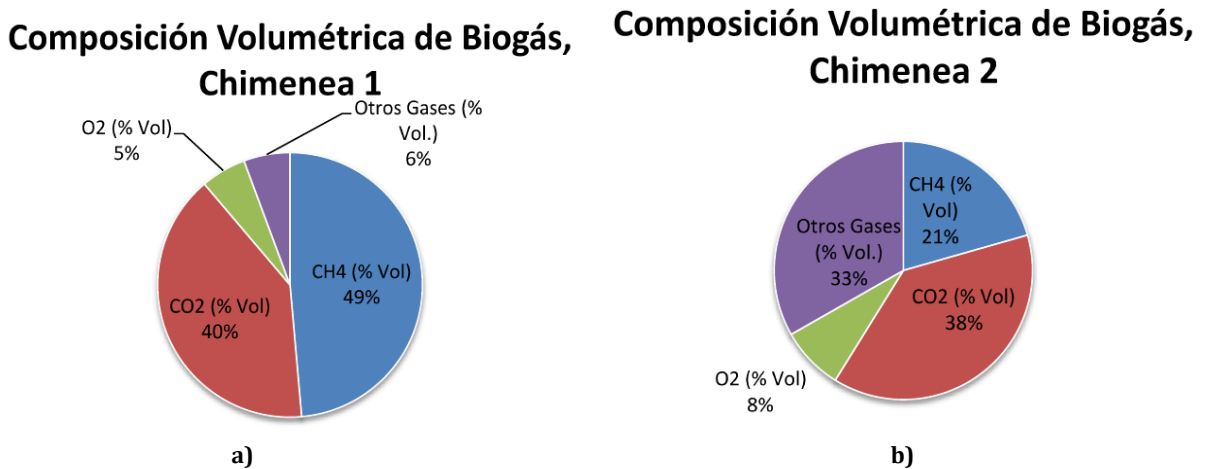


Figura 34 Composición Química-Volumétrica del Biogás a) Chimenea 1, b) Chimenea 2

- **Chimeneas 5 y 7:** Como se menciona anteriormente, la chimenea 5 posee una ínfima generación de biogás, menos del 1%, con un porcentaje de O_2 similar al existente en el medioambiente, por lo tanto, técnicamente no existe generación alguna de biogás en esta chimenea.

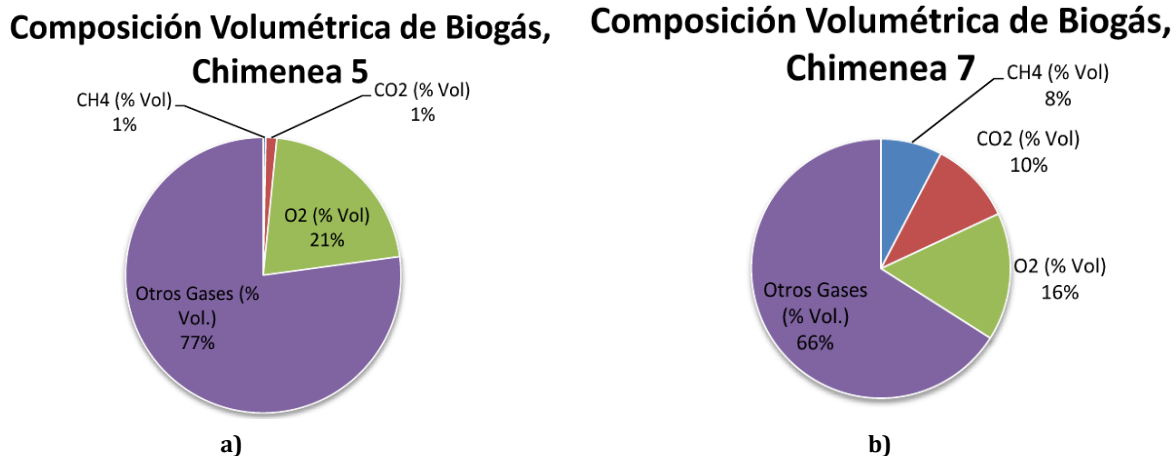


Figura 35 Composición Química-Volumétrica del Biogás a) Chimenea 5, b) Chimenea 7

- **Chimenea 8:** Esta chimenea genera alrededor del 2% del volumen en metano, lo que se traduce en 3 litros de metano a la hora.

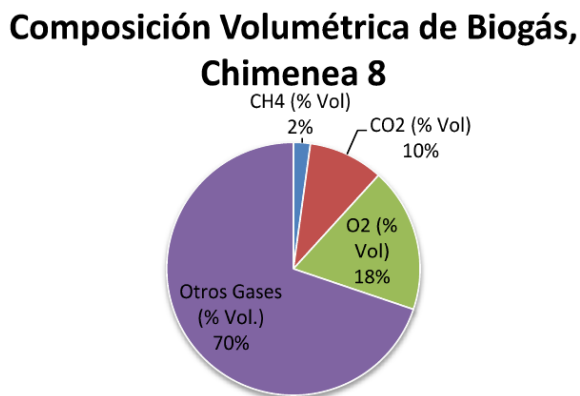


Figura 36 Composición Química-Volumétrica del Biogás Chimenea 8

Finalmente, la Tabla 5 resume todas las variables medidas en el vertedero correspondiente a cada chimenea.

Cabe mencionar, que en base a las altas tasas de producción de Ácido Sulhídrico y Monóxido de Carbono es estrictamente recomendable no mantener personal cerca de las

chimeneas 1 y 2 por más de 15 minutos, ya que puede resultar sumamente perjudicial debido a la peligrosidad de ambos gases.

Al analizar los resultados previamente expuestos de la calidad y cantidad de biogás emanado por las chimeneas, se concluye que no existe una homogeneidad en la emanación en cada una de las chimeneas ubicadas en distintas zonas del vertedero.

Con los resultados obtenidos, se puede validar la hipótesis que en las zonas del vertedero que comenzaron a recibir residuos a principios de los años 90 y 2000, se encuentran en la última etapa de la fase metanogénica, donde la mayor cantidad de biogás generado fue emanado por la superficie del vertedero.

Un dato útil respecto a las mediciones en terreno, corresponde a la composición del biogás emanado en el vertedero, la que será utilizada para la valorización del biogás.

Tabla 5 Resumen de composición química obtenida mediante mediciones en chimeneas del vertedero Morrompulli

Chimenea	CH4 (% Vol)	CO2 (% Vol)	O2 (% Vol)	Otros Gases (% Vol.)	CH4 (LEL)	CO (ppm)	H2S (ppm)
1	31.4	45.1	11.6	11.8	97.7	17.9	197.7
2	31.1	28.6	17.8	22.5	92.9	98.4	171.4
5	0.3	1.3	21.3	77.1	14.9	0.0	0.0
7	7.7	10.4	15.9	66.0	81.0	159.0	0.1
8	2.2	9.6	18.5	69.8	82.9	0.0	1.0

Tabla 6 Parámetros físicos obtenidos en la medición experimental de biogás por chimenea

Chimenea	Velocidad (m/s)	Caudal Total (m ³ /h)	Caudal Metano (lt/h)	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)
1	2.4	0.6	256.0	28.7	76.5
2	1.1	0.3	77.5	23.2	80.0
5	0.9	0.2	0.6	27.9	48.7
7	0.9	0.2	17.0	27.7	55.6
8	0.6	0.1	3.2	27.0	46.2

7 Proyección de emanación de biogás

La proyección de la emanación teórica de biogás se realiza utilizando el modelo LandGem⁴ desarrollado a encargo de la Agencia de Protección Ambiental (Environmental Protection Agency, EPA) a mediados de los noventa, con el fin de evaluar los pasivos ambientales generados por los vertederos abandonados en Estados Unidos. El modelo también es válido para predecir la generación de biogás en vertederos en operación o en etapa de diseño.

El modelo LandGem realiza la estimación de la emanación de biogás a partir de las características del vertedero, cantidad de residuos acopiados por año en el vertedero y la composición de los residuos (componentes orgánicos).

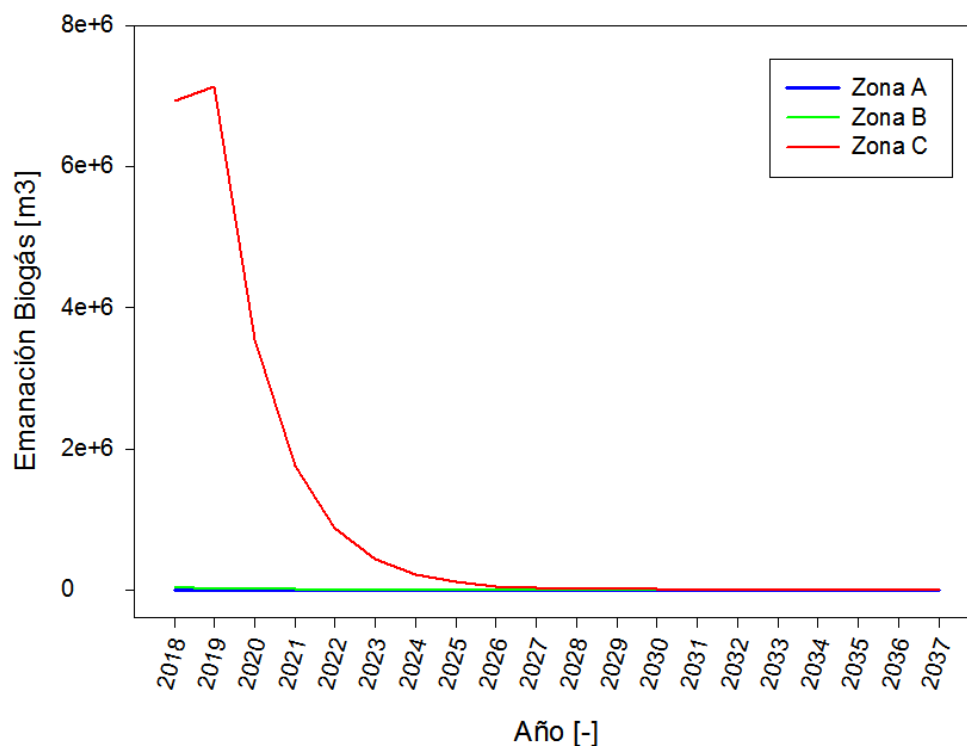


Figura 37 Proyección de emanación de biogás obtenida mediante el modelo LandGem

⁴ <https://www.epa.gov/chief>

Considerando la composición de los residuos del Vertedero Morrompulli (Figura 9), la tasa de aceptación de residuos sólidos (Figura 10) y los años de operación de las tres zonas establecidas (Figura 11), se realiza la proyección de la emanación anual de biogás en el vertedero en un periodo de 20 años⁵ (2018-2037)⁶.

Tabla 7 Proyección de emanación de biogás obtenida mediante el modelo LandGem

Año	Biogás [m3/año]		
	Zona A	Zona B	Zona C
2018	49	42241	6929061
2019	24	20976	7136336
2020	12	10416	3543800
2021	6	5173	1759799
2022	3	2569	873890
2023	1	1276	433961
2024	1	633	215499
2025	0	315	107013
2026	0	156	53141
2027	0	78	26389
2028	0	39	13104
2029	0	19	6507
2030	0	9	3232
2031	0	5	1605
2032	0	2	797
2033	0	1	396
2034	0	1	197
2035	0	0	98
2036	0	0	48
2037	0	0	24

De acuerdo a los resultados obtenidos al aplicar el modelo LandGem (Figura 37 y Tabla 7), es posible concluir que las zonas A y B ya han emanado a la atmosfera la mayor parte del biogás generado, específicamente durante los primeros 12 años desde el termino de acumulación de residuos. Caso contrario ocurre en la Zona C, ya que corresponde a una zona con residuos actuales los cuales se encuentran en su fase metanogénica de degradación.

⁵ Plazo de evaluación determinado en base a la vida útil de los equipos generadores de electricidad.

⁶ Se considera el cierre del vertedero para el año 2017

La emanación de metano en la Zona C alcanza su punto máximo el año 2019, para luego comenzar a decaer gradualmente hasta el año 2037. En el caso de las zonas A y B, la emanación de biogás concluirá los años 2024 y 2034 respectivamente.

Al comparar los resultados obtenidos mediante el modelo LandGem con las mediciones realizadas en terreno, se puede observar una correlación entre ellas. Donde las chimeneas ubicadas en la zona A, presentan un bajo caudal de biogás con una pequeña concentración de metano. Caso contrario ocurre en las chimeneas ubicadas en la Zona C, donde se tiene un caudal considerable de biogás con una alta concentración de metano.

7.1 Captura de biogás

En la Tabla 7 se muestra el máximo potencial de emanación del vertedero, este valor corresponde un valor teórico que no considera la eficiencia del sistema de captura de biogás, considerando que el vertedero no presenta una capa impermeable en la superficie, solamente una fracción del biogás se dirigirá hacia las chimeneas, mientras que el biogás restante será emanado a través de la superficie.

En la *International Waste Management and Landfill Symposium in Sardinia, 2011* se estableció que es posible captar entre un 50 a un 70% del biogás emanado del vertedero mediante chimeneas. En otro estudio, en base a resultados obtenidos en España (Rubio-Romero, Arjona-Jiménez, & López-Arquillos, 2013), se estima que es posible la captura de un 75% del biogás emanado mediante chimeneas. Considerando lo anterior, se establecen tres escenarios de captura, donde el escenario más desfavorable corresponde a un 50% de captura (escenario I), el segundo escenario (II) presenta un 70% de captura, finalmente el tercer escenario (III) es el más favorable en términos de captura con un 75%.

Tabla 8 Volumen de biogás capturado por año en los tres escenarios propuestos

Año	Escenarios			
	I	II	III	
2018	3485676	4879946	5228513	m ³
2019	3578669	5010136	5368003	m ³
2020	1777114	2487960	2665671	m ³
2021	882489	1235484	1323733	m ³
2022	438231	613523	657346	m ³
2023	217619	304667	326429	m ³
2024	108066	151293	162100	m ³
2025	53664	75130	80496	m ³
2026	26649	37308	39973	m ³
2027	13233	18527	19850	m ³
2028	6572	9200	9857	m ³
2029	3263	4569	4895	m ³
2030	1621	2269	2431	m ³
2031	805	1127	1207	m ³
2032	400	559	599	m ³
2033	198	278	298	m ³
2034	99	138	148	m ³
2035	49	69	73	m ³
2036	24	34	36	m ³
2037	12	17	18	m ³

La disposición y número necesario de las chimeneas de captura se determina en base a lo expresado por (Martín & Fernandez, 2000), donde se considera que cada chimenea de emanación tiene un radio de 25 m de efectividad de captura del biogás en el terreno. La distancia entre cada una de las chimeneas es 43.2 m para maximizar la recolección de biogás en el vertedero. Considerando las tres zonas existentes en el vertedero, se determina el requerimiento de 103 chimeneas de acuerdo a lo mostrado en el Layout 1 (Figura 45).

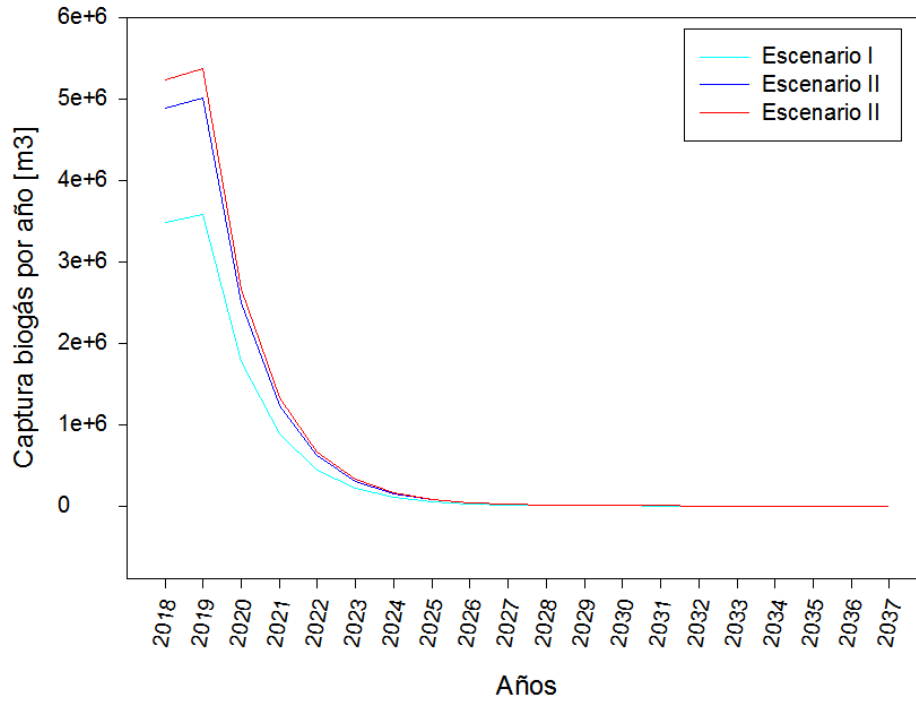


Figura 38 Proyección de captura de biogás por escenario

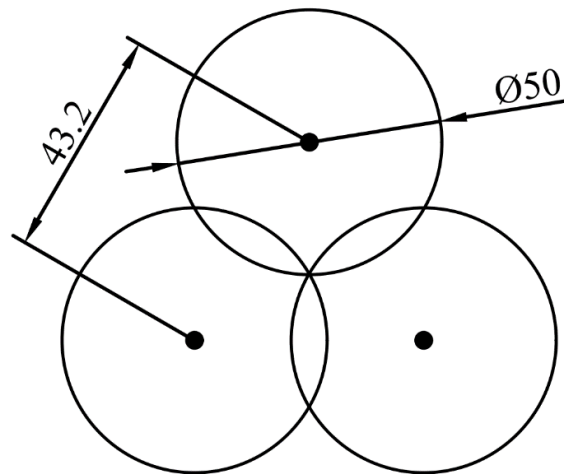


Figura 39 Disposición de las chimeneas de captura y emanación.

8 Propuesta para aumentar tasa de emanación

En la actualidad los lixiviados generados debido al proceso de degradación de los residuos orgánicos y la infiltración de agua (Ganesh & Jambeck, 2013), principalmente de precipitaciones, son filtrados sin control a las napas subterráneas cercanas al vertedero o fluyen libremente por las paredes del vertedero, teniendo como punto de acumulación una laguna cercana a la zona C del vertedero.



Figura 40 Ubicación de laguna de lixiviados y red de inyección propuesta

De acuerdo a (Iskander, Brazil, Novak, & He, 2016), los líquidos lixiviados presentan una relación entre demanda biológica de oxígeno (BOD) y demanda química de oxígeno (COD) relativamente alta ($BOD_5/COD=0.4-0.6$), lo que indica una buena biodegradabilidad, y por consecuencia, un potencial no explotado de metanización.

Debido a los antecedentes de los lixiviados, y a los resultados obtenidos por (Rubio-Romero, Arjona-Jiménez, & López-Arquillos, 2013) al evaluar el proceso de metanización de residuos orgánicos reinyectando los lixiviados al sistema, se propone la valorización de

los lixiviados mediante la inyección de ellos en la zona de operación C, con el objetivo de aumentar el potencial ya establecido de emanación, con la ventaja de disminuir el contenido orgánico de estos líquidos.

El sistema de inyección consiste en un sistema de captación de lixiviados desde la laguna de acumulación, para luego ser elevados mediante una bomba centrífuga hacia la zona de operación C. Los lixiviados serán infiltrados en el vertedero mediante ductos de PVC perforados en su zona inferior.

El cálculo del sistema de inyección debe considerar una bomba centrífuga que permita elevar los lixiviados hasta la zona de inyección, las cuales presentan una diferencia de altura aproximada de 20m. Mientras que el caudal de inyección se deberá determinar en base a la cantidad de líquido acumulado en la laguna y a la capacidad de absorción del vertedero.

La capacidad de absorción del vertedero representa un parámetro clave para esta propuesta, ya que una inyección de lixiviados superior a la capacidad de absorción puede ocasionar deslizamientos de residuos, afloramiento de lixiviados en la superficie y ralentizar el proceso de metanización de los residuos.

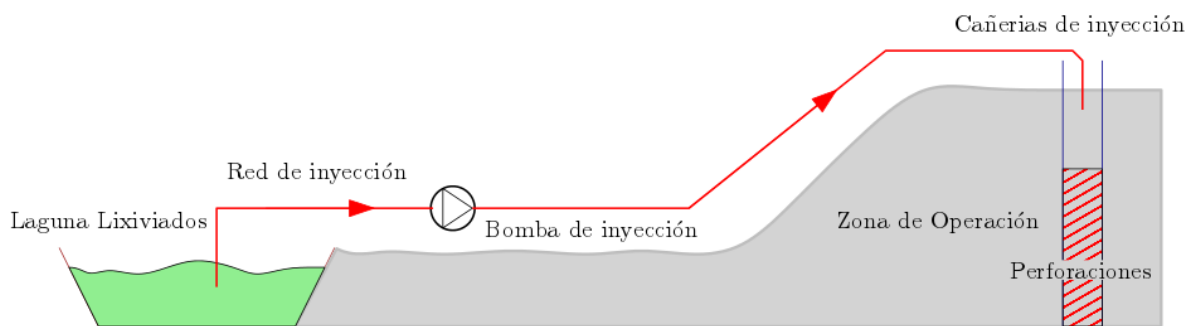


Figura 41 Propuesta de reinyección de líquidos lixiviados

9 Propuestas de valorización del biogás

El Vertedero Morrompulli posee potencial energético como Energía Renovable No Convencional (ERNC) mediante el aprovechamiento del Biogás que hoy se ventea sin control a la atmósfera, generando contaminación y emisión de gases de efecto invernadero que aportan al calentamiento global de la tierra (Deublein & Steinhauser, 2008). El modelo actual de consumo de la sociedad no vislumbra un concepto de generación cero residuos que permite asumir que este tipo de instalaciones tienda a desaparecer. Las políticas de Residuos que prioriza las tres R (reducir, reusar y reciclar) es un llamado a mitigar la generación y producir conciencia en la sociedad. Hoy ad portas a la promulgación de la Ley de responsabilidad extendida del proveedor. Vislumbra una mejora en la gestión de residuos, pero no la eliminación de los establecimientos eliminación final de residuos.

La situación actual será mejorada con la construcción del Centro de Valorización de Residuos y partida del futuro Relleno Sanitario de Los Ríos, que se emplazará aledaño al Vertedero Morrompulli, este se inclinó en su diseño de las externalidades negativas de la operación de este tipo de instalación.

Sin embargo, la tasa generación por el crecimiento de la sociedad y tipo de consumo de esta, de lo cual la región se hace cargo mediante la operación de Vertedero que operará hasta la apertura de Futuro Relleno Sanitario no estimado antes del año 2018.

Las alternativas propuestas para el aprovechamiento del Biogás son las siguientes:

- Generación de Energía Eléctrica.
- Generación de Energía Eléctrica y Térmica (Cogeneración, CHP).

9.1 Generación de energía eléctrica

9.1.1 Parámetros técnicos

El modelo tradicional de mercado eléctrico en Chile está basado en una estructura tipo Pool, lo que significa que existe una coordinación de la operación, tanto física, económica y comercial, del sistema en forma centralizada y una estructura de contratos bilaterales financieros no necesariamente por medio de un comercializador. Centro de Despacho Económico de Carga (CDEC) es el organismo operador del mercado. La oferta de venta energía recae en las generadoras, la demanda en las empresas Distribuidoras y el transporte en las empresas de Transmisión.

Esta estructura origina lo que es conocido como Mercado Spot, en donde el CDEC se encarga de determinar diariamente, mediante la minimización de los Costos de Operación, el despacho de las unidades generadoras del sistema eléctrico para abastecer la demanda de energía⁷. Al existir variación horaria de energía, se define el Costo Marginal Instantáneo (CMgi), que en definitiva es el precio del Mercado Spot. Al Mercado Spot sólo tienen acceso los generadores de energía eléctrica y es usado normalmente cuando ciertos generadores no logran responder a sus contratos de suministro.

En virtud de la modificación generada por el Decreto 101 del 2015 “Aprueba Reglamento Para Medios De Generación No Convencionales y Pequeños Medios de Generación establecidos en la Ley General de Servicios Eléctricos”. Es que se genera una oportunidad de negocios mediante la “Generación Distribuida” para establecimientos que pueden producir energía menor escala, esta permite la conexión directamente al sistema de distribución.

⁷ Jorge Herrera B., Student Member IEEE

El aprovechamiento de Biogás para generación energética transforma esta instalación en un Medio de Generación No Convencional (MGNC), de acuerdo al Decreto los MGNC, son medios de generación que poseen como fuente energética recursos no convencionales y que tienen excedentes de potencia suministrada al sistema inferiores a 20.000 kW. Pueden ser conectados en instalaciones del Sistema de Transmisión Troncal, de Sub-transmisión, Adicionales o de Distribución, cumpliendo límites de potencia respectivos.

Por lo tanto, **es factible** conectar a la empresa Distribuidora SAESA la generación de energía eléctrica que tendría esta planta.

Para determinar la capacidad de generación eléctrica, se utiliza el rendimiento del generador eléctrico a considerar. A través de este rendimiento se puede generar alrededor de 1,5 kWh⁸ por cada metro cúbico de biogás consumido.

A través de la generación anual de biogás y el rendimiento del generador eléctrico, se obtiene una proyección de producción eléctrica para los tres escenarios considerados y que puede ser visualizada en la Figura 42.

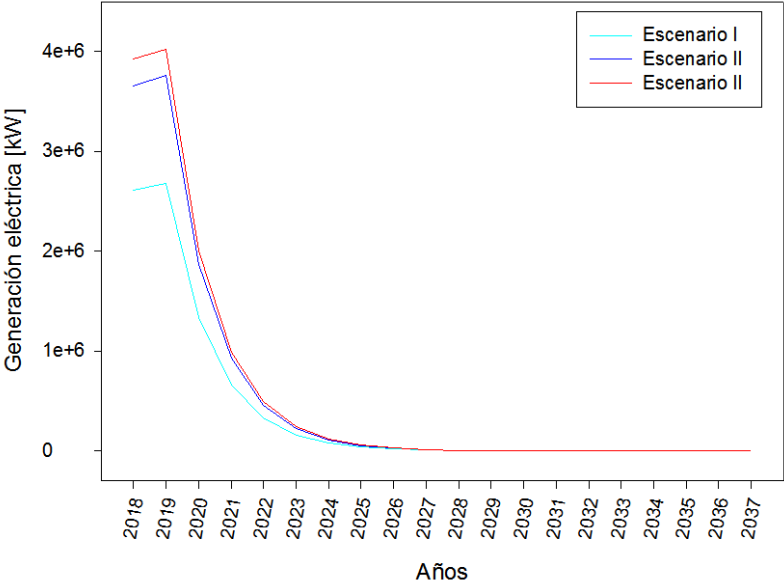


Figura 42 Proyección de generación de energía eléctrica por escenario

⁸ Tasa de conversión entregada por la empresa distribuidora del equipo de generación.

9.1.2 Parámetros económicos

- **Precio de venta:** el precio de venta de electricidad se determina a partir del Precio Nudo de Corto Plazo SIC correspondiente a noviembre de 2015, se proyecta mediante función de tendencia el valor hasta marzo de 2018, aplicando el Índice de Precios al Consumidor (IPC).
- **Costos de inversión:** el Costo de Inversión está asociado a la adquisición de una planta integrada de manejo, esta planta realiza una desulfhidricación del biogás, compresión, almacenamiento y combustión de biogás para finalmente generar energía eléctrica. Esta planta fue cotizada en China con un valor puesto en Chile de \$132.480.162 CLP. La instalación de la planta integrada de generación de electricidad se encontrará montada en una bodega de 60m².

La partida de pipping considera el costo de las tuberías de PVC de alta resistencia que permiten la conducción del biogás desde las Chimeneas hasta la planta integrada, además de los conectores, derivaciones y trampas de condensado necesarias.

El costo asociado a chimeneas de emanación considera tuberías, gravilla para protección y estabilización, válvulas y fittings, entre otros. Finalmente, se estiman los valores de construcción de las chimeneas y el pipping, montaje y puesta en marcha de la planta, considerando para todas las labores mano de obra calificada.

El resumen de los costos asociados a la alternativa de generación eléctrica mediante una planta integrada de tratamiento se muestra en la Tabla 9.

Tabla 9 Costos de inversión y construcción alternativa generación eléctrica

Materiales				
Ítem	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
Planta Integrada				
Eléctrica	-	1	\$ 132.480.162	\$ 132.480.162
Pipping	m	1.525	\$ 9.150	\$ 13.953.750
Chimeneas	-	103	\$ 19.420	\$ 2.000.260
Bodega	m ²	60	\$ 309.783	\$ 18.587.000
Subtotal Materiales				\$ 167.021.172
Gastos de Construcción e Instalación				
Construcción Chimeneas	-	103	\$ 300.000	\$ 30.900.000
Montaje y puesta en marcha	-		\$ 5.000.000	\$ 5.000.000
Subtotal Cons. y Mont.				\$ 35.900.000
Total				\$ 202.921.172

- **Costos de operación:** Se considera para esta partida, tres operarios en turnos de 8 horas más un operario de descanso que administrarán y operarán la planta de biogás cuyo requisito debe ser mano de obra calificada, además se consideran apoyos para los Operarios que puede ser mano de obra no calificada.

Tabla 10 Gastos operacionales alternativa generación eléctrica

Ítem	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
Operador planta	4	\$ 600.000	\$ 2.400.000
Apoyo operaciones	2	\$ 290.000	\$ 560.000
Total Mensual			\$ 2.960.000
Total Anual			\$ 35.520.000

Costos de mantención: para la mantención del sistema integrado de biogás y sistema de extracción se considera un supervisor, dos operarios, gastos asociados a reposición de equipos, movilización de personal e insumos de mantención. Al existir zonas del vertedero que serán agotadas durante el plazo de evaluación del proyecto, los

costos de mantención y operación se reducirán debido a la disminución de las chimeneas operativas y pipping a mantener. La estimación de los costos de mantención, basados en la proyección de emanación de biogás (Tabla 8) y los costos establecidos en el primer periodo (Tabla 11).

Tabla 11 Costo anual de mantención alternativa generación eléctrica

Ítem	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
Supervisores	1	\$ 850.000	\$ 850.000
Operarios	2	\$ 175.000	\$ 350.000
Reposición de equipos	1	\$ 50.000	\$ 50.000
Movilización	-	\$ 95.000	\$ 95.000
Insumos mantención	-	\$ 100.000	\$ 100.000
Total Mensual			\$ 1.445.000
Total Anual			\$ 17.340.000

Tabla 12 Costos operacionales y de mantención durante la operación del proyecto

Año	Costos	
	Operacionales	Mantención
2018	\$ 35.520.000	\$ 17.340.000
2019	\$ 36.940.800	\$ 18.033.600
2020	\$ 38.418.432	\$ 18.754.944
2021	\$ 39.955.169	\$ 19.505.142
2022	\$ 41.553.376	\$ 20.285.347
2023	\$ 43.215.511	\$ 21.096.761
2024	\$ 44.944.132	\$ 21.940.632
2025	\$ 29.043.509	\$ 14.178.334
2026	\$ 30.205.249	\$ 14.745.468
2027	\$ 31.413.459	\$ 15.335.287
2028	\$ 32.669.997	\$ 15.948.698
2029	\$ 33.976.797	\$ 16.586.646
2030	\$ 35.335.869	\$ 17.250.112
2031	\$ 36.749.304	\$ 17.940.116
2032	\$ 38.219.276	\$ 18.657.721
2033	\$ 39.748.047	\$ 19.404.030
2034	\$ 41.337.969	\$ 20.180.191
2035	\$ 14.106.582	\$ 6.886.490
2036	\$ 14.670.845	\$ 7.161.950
2037	\$ 15.257.679	\$ 7.448.428

9.2 Cogeneración de energía eléctrica y térmica

9.2.1 Parámetros técnicos

La propuesta en este punto es generar dos tipos de energía, a fin de desarrollar otra actividad en el sector. La situación planteada es generar 30% de energía eléctrica y un 70% de energía térmica, la energía eléctrica tiene la misma justificación técnica del punto anterior. Respecto a la utilización de energía térmica se consideró en función de la demanda actual y futura de leña seca, pues la leña es el tercer recurso energético más usado en Chile, generando un flujo aproximado de 115 mil millones de pesos anuales, moviendo a la economía local y campesina del país.

La leña se utiliza como combustible en el 90% de los hogares de la zona sur del país, y ha generado contaminación del aire, principalmente por su utilización en condiciones húmedas, deficientes sistemas de combustión y poca regulación de la cadena productiva de la leña.

Valdivia fue declarada zona Saturada por material particulado PM10, lo que implica restricciones de uso de leña húmeda, debido a que es uno de los principales actores en la generación de eventos de superación de límites de la norma. El desarrollo de un plan de descontaminación ambiental se debe hacer cargo del manejo reglamentar el uso de leña seca como combustible de calefacción. Hoy la producción de leña seca es aproximadamente el 10% del mercado, es necesario tener una mayor oferta de leña seca. Utilizar la energía térmica en el para el secado artificial de leña permite aumentar la oferta de leña seca en la ciudad.

En la Figura 43 se muestra la proyección de la generación de energía térmica y eléctrica bajo un horizonte de evaluación de 10 años y considerando, a modo de ejemplo, el escenario III (75% de captación de biogás).

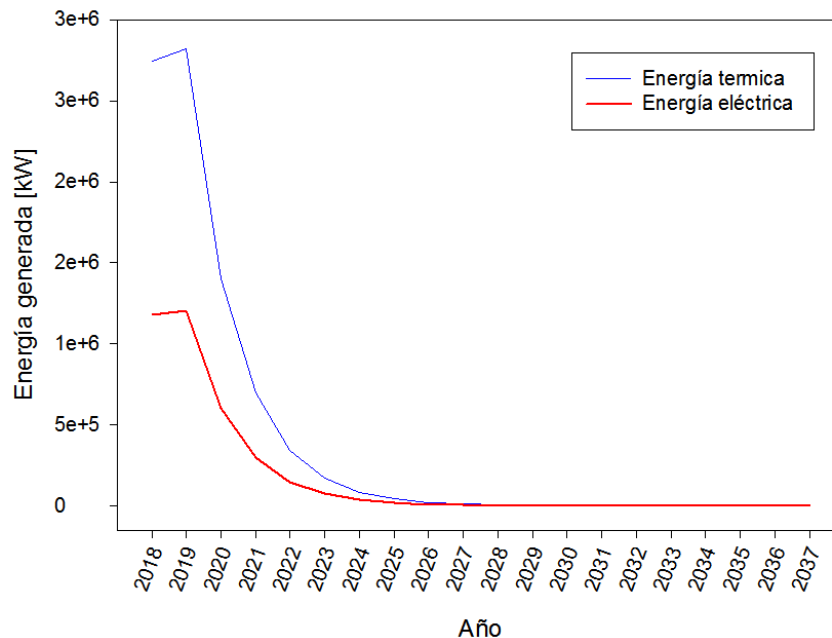


Figura 43 Proyección de generación de energía eléctrica y térmica bajo condiciones de escenario I

9.2.2 Parámetros económicos

- **Precio de venta:** el precio de venta de electricidad se determina a partir del Precio Nudo de Corto Plazo SIC correspondiente a noviembre de 2015, se proyecta mediante función de tendencia el valor hasta marzo de 2018, aplicando el Índice de Precios al Consumidor (IPC).
- **Costos de inversión:** se requieren de los mismos insumos de la anterior alternativa, a excepción del generador eléctrico, ya que éste sistema de cogeneración cuenta con un sistema de intercambiador de calor entre la combustión generada por el biogás y el fluido a calentar (Figura 44). Por otro lado, esta alternativa contempla desarrollar un servicio de secado de leña, para ello se deben considerar un galpón de secado incluyendo el sistema de Transferencia de Calor.

Tabla 13 Costos de inversión y construcción alternativa cogeneración eléctrica y térmica

Materiales				
Ítem	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
Sistema Integrado CHP	-	1	\$ 143.257.490	\$ 143.257.490
Pipping	m	1.525	\$ 9.150	\$ 13.953.750
Chimeneas	-	103	\$ 19.420	\$ 2.000.260
Bodega	m ²	60	\$ 309.783	\$ 18.587.000
Galpón	m ²	240	\$ 312.500	\$ 75.000.000
Equipos de secado	-	1	\$ 10.000.000	\$ 10.000.000
Subtotal Materiales				\$ 262.798.500
Gastos de Construcción e Instalación				
Construcción Chimeneas	-	103	\$ 300.000	\$ 29.900.000
Montaje y puesta en marcha	-		\$ 5.000.000	\$ 5.000.000
Subtotal Cons. y Mont.				\$ 35.900.000
Total				\$ 298.698.500

- **Costos de operación:** Se considera para esta partida, tres operarios en turnos de 8 horas más un operario de descanso que administrarán y operarán la planta de biogás cuyo requisito debe ser mano de obra calificada, además se consideran apoyos para los Operarios que puede ser mano de obra no calificada.

Tabla 14 Gastos operacionales alternativa cogeneración eléctrica y térmica

Ítem	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
Operador planta	4	\$ 600.000	\$ 2.400.000
Apoyo operaciones	2	\$ 290.000	\$ 560.000
Total Mensual			\$ 2.960.000
Total Anual			\$ 35.520.000

- **Costos de mantención:** para la mantención del sistema integrado de biogás y sistema de extracción se considera un supervisor, dos operarios, gastos asociados a reposición de equipos, movilización de personal e insumos de mantención.

Tabla 15 Costo anual de mantención alternativa cogeneración eléctrica y térmica

Ítem	Cantidad	Precio Unitario	Precio	
				Total
Supervisores	1	\$ 850.000	\$	850.000
Operarios	2	\$ 175.000	\$	350.000
Reposición de equipos	1	\$ 50.000	\$	50.000
Movilización	-	\$ 95.000	\$	95.000
Insumos mantención	-	\$ 100.000	\$	100.000
Total Mensual			\$	1.445.000
Total Anual			\$	17.340.000

Al existir zonas del vertedero que serán agotadas durante el plazo de evaluación del proyecto, los costos de mantención y operación se reducirán debido a la disminución de las chimeneas operativas y pipping a mantener. La estimación de los costos de mantención, basados en la proyección de emanación de biogás (Tabla 8) y los costos establecidos en el primer periodo (Tabla 11).

Tabla 16 Costos operacionales y de mantención durante la operación del proyecto

Año	Costos	
	Operacionales	Mantención
2018	\$ 35.520.000	\$ 17.340.000
2019	\$ 36.940.800	\$ 18.033.600
2020	\$ 38.418.432	\$ 18.754.944
2021	\$ 39.955.169	\$ 19.505.142
2022	\$ 41.553.376	\$ 20.285.347
2023	\$ 43.215.511	\$ 21.096.761
2024	\$ 44.944.132	\$ 21.940.632
2025	\$ 29.043.509	\$ 14.178.334
2026	\$ 30.205.249	\$ 14.745.468
2027	\$ 31.413.459	\$ 15.335.287
2028	\$ 32.669.997	\$ 15.948.698
2029	\$ 33.976.797	\$ 16.586.646
2030	\$ 35.335.869	\$ 17.250.112
2031	\$ 36.749.304	\$ 17.940.116
2032	\$ 38.219.276	\$ 18.657.721
2033	\$ 39.748.047	\$ 19.404.030
2034	\$ 41.337.969	\$ 20.180.191
2035	\$ 14.106.582	\$ 6.886.490
2036	\$ 14.670.845	\$ 7.161.950
2037	\$ 15.257.679	\$ 7.448.428

10 Evaluación económica

En este punto se elabora la evaluación económica de la iniciativa, de acuerdo al estudio técnico desarrollado para determinar el potencial de producción de biogás en el Vertedero Morrompulli, de acuerdo a los tres escenarios ya establecidos para la generación de energía eléctrica y energía térmica.

10.1 Supuestos evaluación económica

A continuación, se desarrolla la evaluación económica de las alternativas propuestas. Éstas se evalúan de forma privada con su respectiva tasa de descuento para utilización de fondos privados, y una evaluación social donde se aplica una tasa de descuento de un 6% utilizada por el Ministerio de Desarrollo Social para la inversión pública realizada mediante Fondo Nacional de Desarrollo Regional o Fondos sectoriales.

10.1.1 Generación de energía eléctrica

Para definir el precio de la energía eléctrica (kW) y realizar la evaluación del proyecto, se opta por utilizar el régimen de precio estabilizado de acuerdo al precio nudo de potencia y energía, según decreto tarifario de la Comisión Nacional de Energía (CNE). Para proyectar los valores se aplica regresión lineal desde el último valor decretado de precio nudo que corresponde a octubre 2015, hasta llegar al año 2018, fecha que se considera como inicio de proyecto. A partir de esa fecha el aumento de precio se rige de acuerdo a un IPC de 1,04% por el total del horizonte de evaluación.

10.1.2 Generación de energía térmica

La definición del precio del kilowatt hora se determina utilizando el mismo criterio descrito para el caso de generación eléctrica. Para definir el precio de servicio de secado se consideró un volumen de 120 m³ equivalente a un ingreso de 6 camiones cargados con leña, este será procesado bajo un sistema de lotes, es decir se mantendrá hasta completar el objetivo del secado, se estima que para secar un metro cubico se requieren de 232.158 kcal, el galpón considerado es de 240m² y la tarifa de secado inicial proyectada es de \$5.200 para el año 2018.

10.1.3 Tasa de Costo Capital

El costo del capital representa el rendimiento mínimo que debe obtener un proyecto, empresa o inversionista, de manera que las diferentes fuentes de financiamiento estén dispuestos a proveer recursos para la ejecución del proyecto en cuestión.

Para el caso del proyecto Estudio de Potencialidad de Producción de Biogás, para la Producción de Energía Térmica y/o Eléctrica del Relleno Sanitario Morrompulli, Región de Los Ríos, es necesario poder estimar la Tasa de Costo Capital, que permita evaluar la viabilidad económica las diferentes alternativas de usos y explotación del biogás.

Las metodologías existentes para determinar la Tasa de Costo Capital para proyectos de generación y utilización del Biogás no han sido muy estudiadas a nivel nacional.

Revisando la información pública disponible, se pudo acceder a un documento que fue preparado por la **Empresa Mercados Energéticos Consultores**, para la Comisión Nacional de Energía, el año 2011 denominado **Desarrollo de una Metodología de Cálculo para la Tasa de Costo capital de Una Empresa de Distribución de Gas de Red en Chile**.

Si bien este estudio, no hace referencia a metodología de generación una Tasa de Costo Capital para empresas que desarrollen proyectos de Biogás, si lo hace con empresas que producen y distribuyen gas en Red en Chile. En este estudio se determina que las metodologías más utilizadas para determinar la Tasa Costo Capital son las siguientes:

- Crecimiento de los dividendos (DGM).
- Benchmarking.
- Modelo de Fama y French (FFM).
- Arbitrage pricing theory (APT).
- Capital Asset Pricing Model (CAPM).

Para los Modelos FFM, APT y CAPM, se requiere determinar, entre otras variables, lo siguiente:

- **Tasa Libre de Riesgo del Mercado Chileno:** lo cual puede ser obtenido mediante el análisis de los Bonos de la Tesorería General de la Republica, en Unidades de fomento, para 10, 20 o 30 años.
- **Premio por Riesgo de Mercado y Beta Desapalancado:** en ambos casos, el análisis se complica, debido que debemos contar con información de empresas similares que se encuentren en funcionamiento y conocer las rentabilidades históricas obtenidas con la producción y utilización del Biogás. Si bien conocemos las empresas que actualmente producen Biogás a partir de la descomposición metanogénica de los residuos orgánicos alojados en rellenos sanitarios, no podemos estimar el premio por riesgo y tampoco conocer el beta con que han evaluado sus inversiones.

Por lo anterior, hemos decidido utilizar la metodología del Benchmarking, para calcular la Tasa Costo Capital de las alternativas de uso viable del Biogás. Esta metodología hace referencia, a la comparación de Tasas de Costo Capital utilizadas por empresas en proyectos de riesgo similar.

10.1.4 Tasa de descuento

Las Tasas de Costo Capital utilizadas para la Evaluación Privada y Social, son las siguientes:

- **Tasa de Costo Capital Evaluación Privada:** será de un 16% anual, considerando que en el documento **Desarrollo de una Metodología de Cálculo para la Tasa de Costo capital de Una Empresa de Distribución de Gas de Red en Chile**, se indica a nivel sudamericano, y en específico países como Argentina, Brasil, utilizan para proyecto asociados a sectores Eléctricos, Agua y Saneamiento, Gas por Redes, Tasas de Costo Capital Propio, que varían entre un 12% y 15% anual.

Para el caso del **Estudio de Potencialidad de Producción de Biogás, para la Producción de Energía Térmica y/o Eléctrica del Relleno Sanitario Morrompulli, Región de Los Ríos**, la rentabilidad del **16% anual**, se justifica debido que estimamos que los riesgos son mayores que un proyecto de distribución de gas por redes, los cuales están asociados a las condiciones de extracción del Biogás, debido que se extrae de un relleno que no es natural y que además depende o varía en cantidad según las condiciones climáticas.

- **Tasa Costo Capital Evaluación Social:** la Tasa Costo Capital que se utilizará en la evaluación social de las alternativas de utilización del Biogás, será de un **6% anual**, considerando que es la tasa vigente que exige el Ministerio de Desarrollo Social.

10.1.5 Impuesto a la renta

Se asume que el Vertedero cierra el 2018, por lo tanto, el impuesto a la renta se considera de 27%, y se proyecta con este mismo valor en todo el horizonte de evaluación.

10.1.6 Valores netos

Para efectos de evaluación se consideran todas las partidas en valores netos (sin IVA.).

10.1.7 Indicadores de rentabilidad

Para evaluar y comparar las distintas alternativas en los escenarios propuestos, se utilizan dos criterios de evaluación:

- **Valor actual neto:** se utiliza debido a que la solución propuesta involucra una fuerte inversión inicial, el biogás generado es valorizado y se tienen costos de operación.
- **Tasa interna de retorno TIR:** se utiliza para determinar la rentabilidad máxima que tendrá la solución propuesta en base a los ingresos y egresos futuros, comparándola con la tasa de costo capital propuesta en el proyecto.

10.2 Conclusiones económicas

A continuación, se exponen las conclusiones económicas en base a las proyecciones de emanación y captura de biogás, considerando dos métodos de valorización; generación eléctrica y cogeneración mediante sistemas integrados.

Los flujos de caja completos de las evaluaciones realizadas se muestran entre las Tabla 21 y la Tabla 32, en los anexos del informe.

10.2.1 Evaluación privada

Ambas alternativas de explotación energética del biogás emanado del vertedero Morrompulli, arrojan que la sumatorias de los flujos esperados para los 20 periodos de operación del proyecto son inferiores a la inversión inicial, por lo tanto, no se justifica la ejecución del proyecto.

Tabla 17 Valor actual neto en evaluación privada para alternativa de generación eléctrica

	Escenarios		
	I	II	III
VAN	\$ -191.800.995	\$ -98.093.411	\$ -30.616.852
TIR	-	-	-

Tabla 18 Valor actual neto en evaluación privada para alternativa de cogeneración eléctrica y térmica

	Escenarios		
	I	II	III
VAN	\$ -322.854.046	\$ -298.323.133	\$ -27.190.404
TIR	-	-	-

10.2.2 Evaluación social

Como se indicó con anterioridad en el desarrollo del punto, la tasa de descuento para la evaluación social es de un 6 %, la cual es menor en 10 puntos a la utilizada en la evaluación privada. Sin embargo, el resultado de esta indica que ambas alternativas de explotación energética del biogás emanado arrojan que la sumatorias de los flujos esperados para los 20 periodos de proyecto son inferior a la inversión inicial, por lo que no se justifica la ejecución del proyecto desde un punto social.

Tabla 19 Valor actual neto en evaluación social para alternativa de generación eléctrica

	Escenarios		
	I	II	III
VAN	\$ -412.269.376	\$ -255.667.639	\$ 150.482.560
TIR	-	-	14%

Tabla 20 Valor actual neto en evaluación social para alternativa de cogeneración eléctrica y térmica

	Escenarios		
	I	II	III
VAN	\$ -579.809.747	\$ -451.913.227	\$ 419.939.097
TIR	-	-	-

11 Conclusiones

La primera campaña de mediciones en verano del 2016 tuvo condiciones muy favorables de producción de biogás asociados a temperaturas promedio más altas que las de la época de invierno. Arrojando resultados interesantes que permitieron desarrollar una evaluación económica con indicadores muy favorables que permitían estimar que el proyecto era viable económicamente, pero con una alta incertidumbre por la evaluación de la producción de los sectores más antiguos que arrojaban medias disímiles en función del estado de sus chimeneas. Con el desarrollo de una segunda campaña a finales del invierno, se logró disminuir la incertidumbre pues disminuyó la generación de biogás en el sector nuevo producto de la temperatura y los sectores antiguos arrojaron baja niveles de metano y alta presencia de oxígeno, Lo que permite concluir que los sectores están agotado, asociado a la baja compactación de los residuos y la permeabilidad del sello superficial.

La modelación con el software LandGem v302, permite corroborar la condición indicada en el párrafo anterior, puesto que se ejecutaron modelaciones con inicio de acumulación, de acuerdo a la información obtenida y estimada, de la disposición de residuos en los sectores más antiguos que se han denominados A y B, que indican que la fase de generación metanogénica se encuentran en su fase final, por lo cual el biogás generado por la degradación de los residuos ya ha sido emanado a la atmosfera sin control.

Los parámetros críticos para la generación de biogás mediante la degradación de residuos orgánicos son temperatura, pH, humedad y tiempo de retención. Es un vertedero estos parámetros no pueden ser controlados debido a que la temperatura del suelo cambia en el transcurso del año y también sufre variaciones en base a la profundidad del terreno. Por otro lado, el pH en un vertedero está condicionado por la cantidad y tipo de residuos que son depositados. Finalmente, la humedad se encuentra relacionada con el tipo de residuos y con la capacidad de infiltración del agua de precipitaciones.

Para lograr un control óptimo de los parámetros anteriores que garantice una correcta degradación de los residuos, se requiere de infraestructura especial (calderas, impermeabilización del vertedero, control de residuos, control de acidez, etc.), lo que significaría un costo económico importante en la ejecución del proyecto y no garantiza un aumento considerable en la tasa de emanación de biogás.

El vertedero por ser una instalación que se rigió por la resolución Nro. 2.444 del 31 de Julio de 1980, la cual no exigía un plan de operaciones y tampoco una gestión de biogás para los vertederos, permitiendo una operación en Morrompulli sin manejo de biogás, desaprovechando su potencial, hoy en base al reglamento 189/2005, exige un cierre con una cobertura final sobre su superficie de disposición que debe minimizar la infiltración de precipitaciones y evitar la salida no controlada de biogás. La configuración de la cobertura final deberá cumplir con los siguientes requisitos tener un espesor de al menos 60 centímetros y una conductividad hidráulica inferior o igual 1×10^{-5} cm/s. Lo que implica controlar el biogás y poseer un mejor rendimiento en su captura.

El Vertedero Morrompulli será cerrado una vez que entre en operación el nuevo Relleno Sanitario de Los Ríos que se estima para el año 2018, esto implica que el proyecto de aprovechamiento de biogás evaluado opera prácticamente en la etapa de agotamiento del biogás, por la falta de disposición de residuos que mantenga la producción. Por esto que la evaluación económica para el aprovechamiento de biogás por medio de energía eléctrica y/o energía térmica en cada uno de los escenarios propuestos **no son viables**, pues los costos de inversión inicial y operación del sistema de valorización, superan a los ingresos a partir del cuarto periodo de operación, teniendo como consecuencia que los VAN de cada uno de los escenarios sean negativos.

12 Referencias

- Deublein, D., & Steinhauser, A. (2008). *Biogas from waste and renewable resources: An Introduction*. Germany: Wiley.
- Ganesh, K., & Jambeck, J. R. (2013). Treatment of landfill leachate using microbial fuel cells: Alternative anodes and semi-continuous operation . *Bioresource Technology* , 139, 383-387. Obtenido de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852413006172>
- IASA. (2012). *Centro de Valorización de Materiales Reciclables Los Ríos*.
- Iskander, S. M., Brazil, B., Novak, J. T., & He, Z. (#feb# de 2016). Resource recovery from landfill leachate using bioelectrochemical systems: Opportunities, challenges, and perspectives. *Bioresource Technology*, 201, 347-354. Obtenido de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852415015849>
- Martín, S., & Fernandez, S. (2000). Gestión del biogás en vertederos controlados de residuos sólidos urbanos. Gobierno del Principado de Asturias. *Servicio Publicaciones del Principado de Asturias*.
- Rajaram, V., Siddiqui, F. Z., & Khan, M. E. (2011). *From Landfill Gas to Energy - Technologies and Challenges* (1 ed.). 6000 Broken Sound Parkway NW, Suite 300: CRC Press Taylor & Francis Group.
- Rubio-Romero, J. C., Arjona-Jiménez, R., & López-Arquillos, A. (2013). Profitability analysis of biogas recovery in Municipal Solid Waste landfills. *Journal of Cleaner Production*, 55, 84-91. Obtenido de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652612006774>
- Sapag, N., & Sapag, R. (2008). *Preparación y Evaluación de proyectos* (Quinta ed.). Chile: Mc Graw Hill.

13 Anexos

Anexo Económico

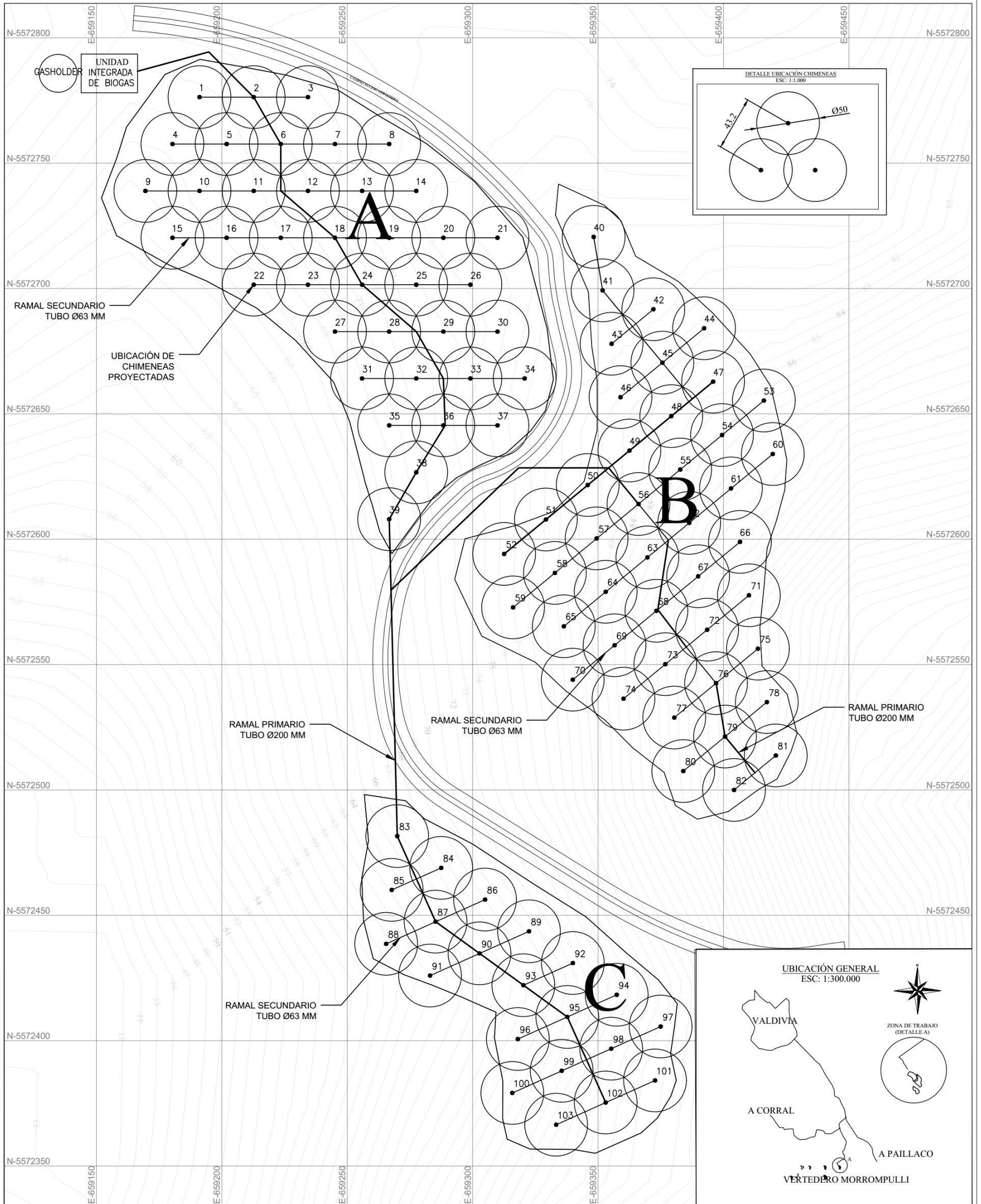
Anexo Ubicación Chimeneas

Anexo layout de valorización



Figura 44 Sistema integrado de cogeneración térmico y eléctrico

UBICACIÓN CHIMENEAS
ESC: 1:1.000



Voltari
Ingeniería & Negocios

CARGO	NOMBRE	FIRMA	FECHA

PROYECTO: ESTUDIO POTENCIALIDAD DE PRODUCCIÓN DE BIOGÁS PARA LA PRODUCCIÓN DE ENERGÍA TÉRMICA Y/O ELÉCTRICA DEL RELLENO SANITARIO LOS RÍOS, MORROMPULLI

Región de Los Ríos
GOBIERNO REGIONAL
Corporación Regional de
Desarrollo Productivo

CORPORACIÓN REGIONAL DE DESARROLLO PRODUCTIVO,
GOBIERNO REGIONAL DE LOS RÍOS

PLANO N°1

INGENIERÍA BÁSICA: CHIMENEAS DE CAPTACIÓN DE BIOGÁS, VERTEDERO MORROMPULLI (NO APTO PARA CONSTRUCCIÓN)

ESCALAS: LAS INDICADAS
MEDIDAS EN METROS (M)

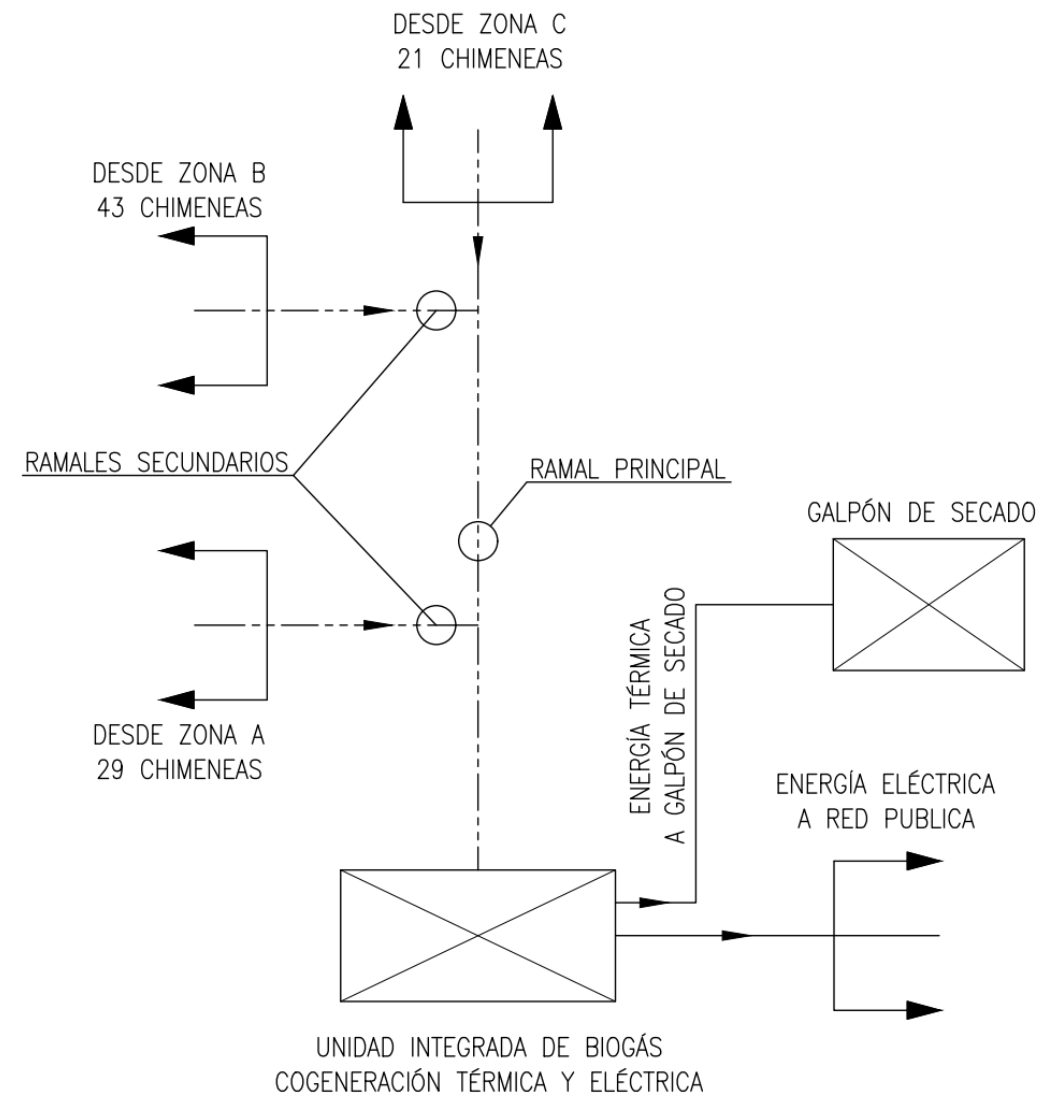
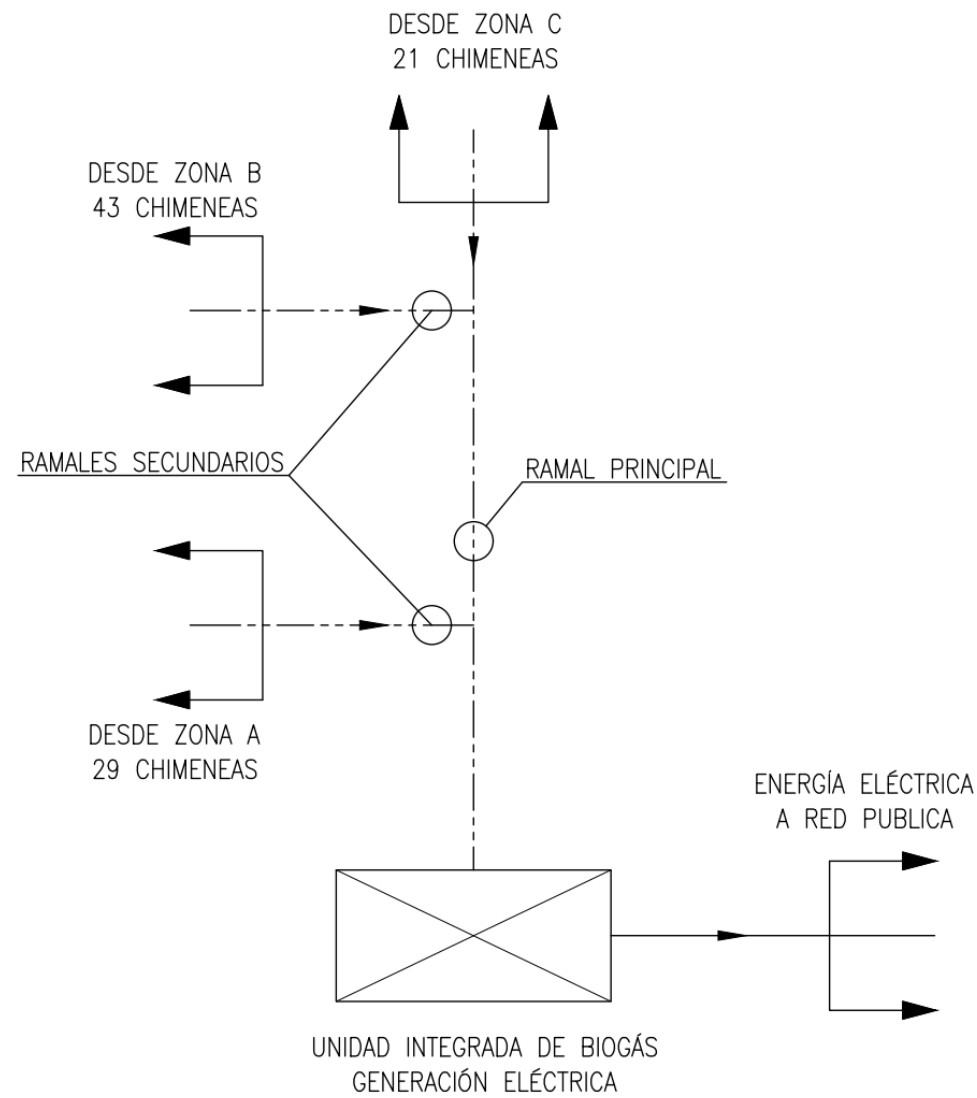
REV.

A

Figura 45 Layout de ubicación de chimeneas y zonas de operación Vertedero Morrompulli

VALORIZACIÓN MEDIANTE GENERACIÓN ELÉCTRICA

VALORIZACIÓN MEDIANTE COGENERACIÓN



			
CARGO	NOMBRE	FIRMA	FECHA

PROYECTO: ESTUDIO POTENCIALIDAD DE PRODUCCIÓN DE BIOGÁS PARA LA PRODUCCIÓN DE ENERGÍA TÉRMICA Y/O ELÉCTRICA DEL RELLENO SANITARIO LOS RÍOS, MORROMPULLI



CORPORACIÓN REGIONAL DE DESARROLLO PRODUCTIVO,
GOBIERNO REGIONAL DE LOS RÍOS

PLANO N°1

INGENIERÍA BÁSICA: LAYOUT DE VALORIZACIÓN DE BIOGÁS, VERTEDERO MORROMPULLI (NO APTO PARA CONSTRUCCIÓN)

ESCALAS: LAS INDICADAS MEDIDAS EN METROS (M)

REV.

A

Figura 46 Layout propuesta de valorización de biogás mediante generación eléctrica y cogeneración térmica-eléctrica

Tabla 21 Flujo de caja privado escenario I alternativa generación eléctrica

Flujo de Caja Privado Alternativa Generación Eléctrica Escenario I																					
Periodo	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Año	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037
Precio (\$/kWh)		\$54	\$56	\$58	\$60	\$63	\$65	\$68	\$70	\$73	\$76	\$79	\$82	\$86	\$89	\$93	\$96	\$100	\$104	\$108	\$113
Gen. Elect anual (kWh/año)		2,614,257	2,684,001	1,332,836	661,867	328,673	163,214	81,050	40,248	19,987	9,925	4,929	2,447	1,215	604	300	149	74	37	18	9
Ingresos Venta Energía	\$0	\$139,993,448	\$149,477,405	\$77,197,414	\$39,868,505	\$20,590,038	\$10,633,699	\$5,491,760	\$2,836,212	\$1,464,758	\$756,473	\$390,679	\$201,766	\$104,202	\$53,815	\$27,793	\$14,353	\$7,413	\$3,828	\$1,977	\$1,021
Otros Ingresos (Valor Comercial Inversión)	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
Gastos Operacionales	\$0	-\$35,520,000	-\$36,940,800	-\$38,418,432	-\$39,955,169	-\$41,553,376	-\$43,215,511	-\$44,944,132	-\$29,043,509	-\$30,205,249	-\$31,413,459	-\$32,669,997	-\$33,976,797	-\$35,335,869	-\$36,749,304	-\$38,219,276	-\$39,748,047	-\$41,337,969	-\$14,106,582	-\$14,670,845	-\$15,257,679
Gastos Mantención	\$0	-\$17,340,000	-\$18,033,600	-\$18,754,944	-\$19,505,142	-\$20,285,347	-\$21,096,761	-\$21,940,632	-\$14,178,334	-\$14,745,468	-\$15,335,287	-\$15,948,698	-\$16,586,646	-\$17,250,112	-\$17,940,116	-\$18,657,721	-\$19,404,030	-\$20,180,191	-\$6,886,490	-\$7,161,950	-\$7,448,428
Depreciación Sist. Int. Planta de Biogás	\$0	-\$8,351,059	-\$8,351,059	-\$8,351,059	-\$8,351,059	-\$8,351,059	-\$8,351,059	-\$8,351,059	-\$8,351,059	-\$8,351,059	-\$8,351,059	-\$8,351,059	-\$8,351,059	-\$8,351,059	-\$8,351,059	-\$8,351,059	-\$8,351,059	-\$8,351,059	-\$8,351,059	-\$8,351,059	-\$8,351,059
Ganancia o Pérdida de Capital	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
Utilidad Antes de Impuesto	\$0	\$78,782,389	\$86,151,946	\$11,672,979	-\$27,942,864	-\$49,599,744	-\$62,029,632	-\$69,744,062	-\$48,736,689	-\$51,837,017	-\$54,343,332	-\$56,579,075	-\$58,712,736	-\$60,832,838	-\$62,986,664	-\$65,200,263	-\$67,488,782	-\$69,861,806	-\$29,340,302	-\$30,181,876	-\$31,056,144
Impuesto a la Renta	\$0	-\$21,271,245	-\$23,261,026	-\$3,151,704	\$7,544,573	\$13,391,931	\$16,748,001	\$18,830,897	\$13,158,906	\$13,995,995	\$14,672,700	\$15,276,350	\$15,852,439	\$16,424,866	\$17,006,399	\$17,604,071	\$18,221,971	\$18,862,688	\$7,921,882	\$8,149,107	\$8,385,159
Utilidad Neta Después de Impuesto	\$0	\$57,511,144	\$62,890,921	\$8,521,275	-\$20,398,291	-\$36,207,813	-\$45,281,631	-\$50,913,165	-\$35,577,783	-\$37,841,023	-\$39,670,632	-\$41,302,725	-\$42,860,297	-\$44,407,972	-\$45,980,265	-\$47,596,192	-\$49,266,811	-\$50,999,118	-\$21,418,421	-\$22,032,770	-\$22,670,985
Depreciación Sist. Int. Planta de Biogás	\$0	\$8,351,059	\$8,351,059	\$8,351,059	\$8,351,059	\$8,351,059	\$8,351,059	\$8,351,059	\$8,351,059	\$8,351,059	\$8,351,059	\$8,351,059	\$8,351,059	\$8,351,059	\$8,351,059	\$8,351,059	\$8,351,059	\$8,351,059	\$8,351,059	\$8,351,059	\$8,351,059
Inversión Inicial	-\$202,921,172	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
Inversión de Reemplazo	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
Inversión de Capital de Trabajo	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
Valor Libro o Desecho	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
Flujo de Caja	-\$202,921,172	\$65,862,203	\$71,241,980	\$16,872,334	-\$12,047,232	-\$27,856,754	-\$36,930,573	-\$42,562,107	-\$27,226,725	-\$29,489,964	-\$31,319,573	-\$32,951,666	-\$34,509,239	-\$36,056,913	-\$37,629,206	-\$39,245,133	-\$40,915,752	-\$42,648,060	-\$13,067,362	-\$13,681,711	-\$14,319,927
V.A.N	\$ -191,800,995																				
TIR	-																				

Tabla 22 Flujo de caja privado escenario I alternativa generación eléctrica

Flujo de Caja Privado Alternativa Generación Eléctrica Escenario I																					
Periodo	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Año	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037
Precio (\$/kWh)		\$54	\$56	\$58	\$60	\$63	\$65	\$68	\$70	\$73	\$76	\$79	\$82	\$86	\$89	\$93	\$96	\$100	\$104	\$108	\$113
Gen. Elect anual (kWh/año)		2,614,257	2,684,001	1,332,836	661,867	328,673	163,214	81,050	40,248	19,987	9,925	4,929	2,447	1,215	604	300	149	74	37	18	9
Ingresos Venta Energía	\$0	\$139,993,448	\$149,477,405	\$77,197,414	\$39,868,505	\$20,590,038	\$10,633,699	\$5,491,760	\$2,836,212	\$1,464,758	\$756,473	\$390,679	\$201,766	\$104,202	\$53,815	\$27,793	\$14,353	\$7,413	\$3,828	\$1,977	\$1,021
Otros Ingresos (Valor Comercial Inversión)	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
Gastos Operacionales	\$0	-\$35,520,000	-\$36,940,800	-\$38,418,432	-\$39,955,169	-\$41,553,376	-\$43,215,511	-\$44,944,132	-\$29,043,509	-\$30,205,249	-\$31,413,459	-\$32,669,997	-\$33,976,797	-\$35,335,869	-\$36,749,304	-\$38,219,276	-\$39,748,047	-\$41,337,969	-\$14,106,582	-\$14,670,845	-\$15,257,679
Gastos Mantención	\$0	-\$17,340,000	-\$18,033,600	-\$18,754,944	-\$19,505,142	-\$20,285,347	-\$21,096,761	-\$21,940,632	-\$14,178,334	-\$14,745,468	-\$15,335,287	-\$15,948,698	-\$16,586,646	-\$17,250,112	-\$17,940,116	-\$18,657,721	-\$19,404,030	-\$20,180,191	-\$6,886,490	-\$7,161,950	-\$7,448,428
Depreciación Sist. Int. Planta de Biogás	\$0	-\$8,351,059	-\$8,351,059	-\$8,351,059	-\$8,351,059	-\$8,351,059	-\$8,351,059	-\$8,351,059	-\$8,351,059	-\$8,351,059	-\$8,351,059	-\$8,351,059	-\$8,351,059	-\$8,351,059	-\$8,351,059	-\$8,351,059	-\$8,351,059	-\$8,351,059	-\$8,351,059	-\$8,351,059	-\$8,351,059
Ganancia o Pérdida de Capital	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
Utilidad Antes de Impuesto	\$0	\$78,782,389	\$86,151,946	\$11,672,979	-\$27,942,864	-\$49,599,744	-\$62,029,632	-\$69,744,062	-\$48,736,689	-\$51,837,017	-\$54,343,332	-\$56,579,075	-\$58,712,736	-\$60,832,838	-\$62,986,664	-\$65,200,263	-\$67,488,782	-\$69,861,806	-\$29,340,302	-\$30,181,876	-\$31,056,144
Impuesto a la Renta	\$0	-\$21,271,245	-\$23,261,026	-\$3,151,704	\$7,544,573	\$13,391,931	\$16,748,001	\$18,830,897	\$13,158,906	\$13,995,995	\$14,672,700	\$15,276,350	\$15,852,439	\$16,424,866	\$17,006,399	\$17,604,071	\$18,221,971	\$18,862,688	\$7,921,882	\$8,149,107	\$8,385,159
Utilidad Neta Después de Impuesto	\$0	\$57,511,144	\$62,890,921	\$8,521,275	-\$20,398,291	-\$36,207,813	-\$45,281,631	-\$50,913,165	-\$35,577,783	-\$37,841,023	-\$39,670,632	-\$41,302,725	-\$42,860,297	-\$44,407,972	-\$45,980,265	-\$47,596,192	-\$49,266,811	-\$50,999,118	-\$21,418,421	-\$22,032,770	-\$22,670,985
Depreciación Sist. Int. Planta de Biogás	\$0	\$8,351,059	\$8,351,059	\$8,351,059	\$8,351,059	\$8,351,059	\$8,351,059	\$8,351,059	\$8,351,059	\$8,351,059	\$8,351,059	\$8,351,059	\$8,351,059	\$8,351,059	\$8,351,059	\$8,351,059	\$8,351,059	\$8,351,059	\$8,351,059	\$8,351,059	\$8,351,059
Inversión Inicial	-\$202,921,172	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
Inversión de Reemplazo	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
Inversión de Capital de Trabajo	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
Valor Libro o Desecho	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
Flujo de Caja	-\$202,921,172	\$65,862,203	\$71,241,980	\$16,872,334	-\$12,047,232	-\$27,856,754	-\$36,930,573	-\$42,562,107	-\$27,226,725	-\$29,489,964	-\$31,319,573	-\$32,951,666	-\$34,509,239	-\$36,056,913	-\$37,629,206	-\$39,245,133	-\$40,915,752	-\$42,648,060	-\$13,067,362	-\$13,681,711	-\$14,319,927
V.A.N	\$ -191,800,995																				
TIR	-																				

Tabla 23 Flujo de caja privado escenario II alternativa generación eléctrica

Flujo de Caja Privado Alternativa Generación Eléctrica Escenario II

Periodo	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
Año	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	
Precio (\$/kWh)		\$54	\$56	\$58	\$60	\$63	\$65	\$68	\$70	\$73	\$76	\$79	\$82	\$86	\$89	\$93	\$96	\$100	\$104	\$108	\$113	
Gen. Elect anual (kWh/año)		3,659,959	3,757,602	1,865,970	926,613	460,143	228,500	113,470	56,347	27,981	13,895	6,900	3,426	1,702	845	420	208	103	51	26	13	
Ingresos Venta Energía	\$0	\$195,990,827	\$209,268,367	\$108,076,379	\$55,815,907	\$28,826,054	\$14,887,178	\$7,688,464	\$3,970,697	\$2,050,662	\$1,059,062	\$546,951	\$282,472	\$145,882	\$75,341	\$38,910	\$20,095	\$10,378	\$5,360	\$2,768	\$1,430	
Otros Ingresos (Valor Comercial Inversión)	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	
Gastos Operacionales	\$0	-\$35,520,000	-\$36,940,800	-\$38,418,432	-\$39,955,169	-\$41,553,376	-\$43,215,511	-\$44,944,132	-\$29,043,509	-\$30,205,249	-\$31,413,459	-\$32,669,997	-\$33,976,797	-\$35,335,869	-\$36,749,304	-\$38,219,276	-\$39,748,047	-\$41,337,969	-\$14,106,582	-\$14,670,845	-\$15,257,679	
Gastos Mantención	\$0	-\$17,340,000	-\$18,033,600	-\$18,754,944	-\$19,505,142	-\$20,285,347	-\$21,096,761	-\$21,940,632	-\$14,178,334	-\$14,745,468	-\$15,335,287	-\$15,948,698	-\$16,586,646	-\$17,250,112	-\$17,940,116	-\$18,657,721	-\$19,404,030	-\$20,180,191	-\$6,886,490	-\$7,161,950	-\$7,448,428	
Depreciación Sist. Int. Planta de Biogás	\$0	-\$8,351,059	-\$8,351,059	-\$8,351,059	-\$8,351,059	-\$8,351,059	-\$8,351,059	-\$8,351,059	-\$8,351,059	-\$8,351,059	-\$8,351,059	-\$8,351,059	-\$8,351,059	-\$8,351,059	-\$8,351,059	-\$8,351,059	-\$8,351,059	-\$8,351,059	-\$8,351,059	-\$8,351,059	-\$8,351,059	-\$8,351,059
Ganancia o Pérdida de Capital	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	
Utilidad Antes de Impuesto	\$0	\$134,779,768	\$145,942,909	\$42,551,945	-\$11,995,462	-\$41,363,728	-\$57,776,153	-\$67,547,358	-\$47,602,204	-\$51,251,114	-\$54,040,743	-\$56,422,803	-\$58,632,030	-\$60,791,157	-\$62,965,138	-\$65,189,146	-\$67,483,041	-\$69,858,841	-\$29,338,771	-\$30,181,086	-\$31,055,736	
Impuesto a la Renta	\$0	-\$36,390,537	-\$39,404,585	-\$11,489,025	\$3,238,775	\$11,168,207	\$15,599,561	\$18,237,787	\$12,852,595	\$13,837,801	\$14,591,001	\$15,234,157	\$15,830,648	\$16,413,612	\$17,000,587	\$17,601,069	\$18,220,421	\$18,861,887	\$7,921,468	\$8,148,893	\$8,385,049	
Utilidad Neta Después de Impuesto	\$0	\$98,389,231	\$106,538,323	\$31,062,920	-\$8,756,687	-\$30,195,522	-\$42,176,591	-\$49,309,571	-\$34,749,609	-\$37,413,313	-\$39,449,742	-\$41,188,646	-\$42,801,382	-\$44,377,545	-\$45,964,551	-\$47,588,077	-\$49,262,620	-\$50,996,954	-\$21,417,303	-\$22,032,192	-\$22,670,687	
Depreciación Sist. Int. Planta de Biogás	\$0	\$8,351,059	\$8,351,059	\$8,351,059	\$8,351,059	\$8,351,059	\$8,351,059	\$8,351,059	\$8,351,059	\$8,351,059	\$8,351,059	\$8,351,059	\$8,351,059	\$8,351,059	\$8,351,059	\$8,351,059	\$8,351,059	\$8,351,059	\$8,351,059	\$8,351,059	\$8,351,059	\$8,351,059
Inversión Inicial	-\$202,921,172	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	
Inversión de Reemplazo	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	
Inversión de Capital de Trabajo	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	
Valor Libro o Desecho	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	
Flujo de Caja	-\$202,921,172	\$106,740,290	\$114,889,382	\$39,413,978	-\$405,629	-\$21,844,463	-\$33,825,533	-\$40,958,513	-\$26,398,551	-\$29,062,255	-\$31,098,684	-\$32,837,588	-\$34,450,323	-\$36,026,486	-\$37,613,492	-\$39,237,018	-\$40,911,561	-\$42,645,895	-\$13,066,244	-\$13,681,134	-\$14,319,629	
V.A.N	\$ -98,093,411																					
TIR	-																					

Tabla 24 Flujo de caja privado escenario II alternativa cogeneración eléctrica y térmica

Flujo de Caja Privado Alternativa Cogeneración Eléctrica Escenario II																					
Periodo	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Año	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037
Precio (\$/kWh)		\$54	\$56	\$58	\$60	\$63	\$65	\$68	\$70	\$73	\$76	\$79	\$82	\$86	\$89	\$93	\$96	\$100	\$104	\$108	\$113
Gen. Elect anual (kWh/año)		2,561,972	2,630,321	1,306,179	648,629	322,100	159,950	79,429	39,443	19,587	9,727	4,830	2,399	1,191	591	294	146	72	36	18	9
Precio servicio secado de leña		\$ 5,624	\$ 5,849	\$ 6,083	\$ 6,327	\$ 6,580	\$ 6,843	\$ 7,117	\$ 7,401	\$ 7,697	\$ 8,005	\$ 8,325	\$ 8,658	\$ 9,005	\$ 9,365	\$ 9,740	\$ 10,129	\$ 10,534	\$ 10,956	\$ 11,394	\$ 11,850
Cantidad de leña seca m3		4,067	4,175	2,073	1,030	511	254	126	63	31	15	8	4	2	1	0	0	0	0	0	0
Ingresos Venta Energía	\$0	\$137,193,579	\$146,487,857	\$75,653,466	\$39,071,135	\$20,178,238	\$10,421,025	\$5,381,925	\$2,779,488	\$1,435,463	\$741,343	\$382,866	\$197,730	\$102,118	\$52,739	\$27,237	\$14,066	\$7,265	\$3,752	\$1,938	\$1,001
Ingresos secado leña	\$0	\$22,871,981	\$24,421,460	\$12,612,432	\$6,513,674	\$3,363,979	\$1,737,322	\$897,238	\$463,377	\$239,311	\$123,592	\$63,829	\$32,964	\$17,024	\$8,792	\$4,541	\$2,345	\$1,211	\$625	\$323	\$167
Gastos Operacionales	\$0	-\$35,520,000	-\$36,940,800	-\$38,418,432	-\$39,955,169	-\$41,553,376	-\$43,215,511	-\$44,944,132	-\$29,043,509	-\$30,205,249	-\$31,413,459	-\$32,669,997	-\$33,976,797	-\$35,335,869	-\$36,749,304	-\$38,219,276	-\$39,748,047	-\$41,337,969	-\$14,106,582	-\$14,670,845	-\$15,257,679
Gastos Mantenimiento	\$0	-\$17,340,000	-\$18,033,600	-\$18,754,944	-\$19,505,142	-\$20,285,347	-\$21,096,761	-\$21,940,632	-\$14,178,334	-\$14,745,468	-\$15,335,287	-\$15,948,698	-\$16,586,646	-\$17,250,112	-\$17,940,116	-\$18,657,721	-\$19,404,030	-\$20,180,191	-\$6,886,490	-\$7,161,950	-\$7,448,428
Depreciación Sist. Int. Planta de Biogás	\$0	-\$13,139,925	-\$13,139,925	-\$13,139,925	-\$13,139,925	-\$13,139,925	-\$13,139,925	-\$13,139,925	-\$13,139,925	-\$13,139,925	-\$13,139,925	-\$13,139,925	-\$13,139,925	-\$13,139,925	-\$13,139,925	-\$13,139,925	-\$13,139,925	-\$13,139,925	-\$13,139,925	-\$13,139,925	-\$13,139,925
Ganancia o Pérdida de Capital	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
Utilidad Antes de Impuesto	\$0	\$94,065,635	\$102,794,992	\$17,952,596	-\$27,015,427	-\$51,436,432	-\$65,293,850	-\$73,745,525	-\$53,118,903	-\$56,415,868	-\$59,023,736	-\$61,311,926	-\$63,472,673	-\$65,606,764	-\$67,767,814	-\$69,985,145	-\$72,275,590	-\$74,649,609	-\$34,128,620	-\$34,970,459	-\$35,844,864
Impuesto a la Renta	\$0	-\$25,397,721	-\$27,754,648	-\$4,847,201	\$7,294,165	\$13,887,837	\$17,629,340	\$19,911,292	\$14,342,104	\$15,232,284	\$15,936,409	\$16,554,220	\$17,137,622	\$17,713,826	\$18,297,310	\$18,895,989	\$19,514,409	\$20,155,395	\$9,214,727	\$9,442,024	\$9,678,113
Utilidad Neta Después de Impuesto	\$0	\$68,667,914	\$75,040,344	\$13,105,395	-\$19,721,262	-\$37,548,596	-\$47,664,511	-\$53,834,234	-\$38,776,799	-\$41,183,584	-\$43,087,327	-\$44,757,706	-\$46,335,052	-\$47,892,938	-\$49,470,505	-\$51,089,155	-\$52,761,181	-\$54,494,215	-\$24,913,892	-\$25,528,435	-\$26,166,751
Depreciación Sist. Int. Planta de Biogás	\$0	\$13,139,925	\$13,139,925	\$13,139,925	\$13,139,925	\$13,139,925	\$13,139,925	\$13,139,925	\$13,139,925	\$13,139,925	\$13,139,925	\$13,139,925	\$13,139,925	\$13,139,925	\$13,139,925	\$13,139,925	\$13,139,925	\$13,139,925	\$13,139,925	\$13,139,925	\$13,139,925
Inversión Inicial	-\$298,698,500	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
Inversión de Reemplazo	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
Inversión de Capital de Trabajo	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
Valor Libro o Desecho	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
Flujo de Caja	-\$298,698,500	\$81,807,839	\$88,180,269	\$26,245,320	-\$6,581,337	-\$24,408,671	-\$34,524,586	-\$40,694,309	-\$25,636,874	-\$28,043,659	-\$29,947,402	-\$31,617,781	-\$33,195,127	-\$34,753,013	-\$36,330,580	-\$37,949,230	-\$39,621,256	-\$41,354,290	-\$11,773,967	-\$12,388,510	-\$13,026,826
V.A.N	\$ -246,323,133																				
TIR	-																				

Tabla 25 Flujo de caja privado escenario III alternativa generación eléctrica

Flujo de Caja Privado Alternativa Generación Eléctrica Escenario III

Periodo	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Año	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037
recio (\$/kWh)		\$54	\$56	\$58	\$60	\$63	\$65	\$68	\$70	\$73	\$76	\$79	\$82	\$86	\$89	\$93	\$96	\$100	\$104	\$108	\$113
Gen. Elect anual (kWh/año)		5,228,513	4,026,002	1,999,253	992,800	493,010	244,821	121,575	60,372	29,980	14,888	7,393	3,671	1,823	905	450	223	111	55	27	14
Ingresos Venta Energía	\$0	\$279,986,896	\$224,216,108	\$115,796,121	\$59,802,758	\$30,885,058	\$15,950,548	\$8,237,640	\$4,254,319	\$2,197,137	\$1,134,709	\$586,019	\$302,649	\$156,303	\$80,722	\$41,689	\$21,530	\$11,119	\$5,743	\$2,966	\$1,532
Otros Ingresos (Valor Comercial Inversión)	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
Gastos Operacionales	\$0	-\$35,520,000	-\$36,940,800	-\$38,418,432	-\$39,955,169	-\$41,553,376	-\$43,215,511	-\$44,944,132	-\$29,043,509	-\$30,205,249	-\$31,413,459	-\$32,669,997	-\$33,976,797	-\$35,335,869	-\$36,749,304	-\$38,219,276	-\$39,748,047	-\$41,337,969	-\$14,106,582	-\$14,670,845	-\$15,257,679
Gastos Mantención	\$0	-\$17,340,000	-\$18,033,600	-\$18,754,944	-\$19,505,142	-\$20,285,347	-\$21,096,761	-\$21,940,632	-\$14,178,334	-\$14,745,468	-\$15,335,287	-\$15,948,698	-\$16,586,646	-\$17,250,112	-\$17,940,116	-\$18,657,721	-\$19,404,030	-\$20,180,191	-\$6,886,490	-\$7,161,950	-\$7,448,428
Depreciación Sist. Int. Planta de Biogás	\$0	-\$8,351,059	-\$8,351,059	-\$8,351,059	-\$8,351,059	-\$8,351,059	-\$8,351,059	-\$8,351,059	-\$8,351,059	-\$8,351,059	-\$8,351,059	-\$8,351,059	-\$8,351,059	-\$8,351,059	-\$8,351,059	-\$8,351,059	-\$8,351,059	-\$8,351,059	-\$8,351,059	-\$8,351,059	-\$8,351,059
Ganancia o Pérdida de Capital	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
Utilidad Antes de Impuesto	\$0	\$218,775,837	\$160,890,649	\$50,271,686	-\$8,008,612	\$39,304,725	\$56,712,783	\$66,998,182	\$47,318,583	\$51,104,638	\$53,965,095	\$56,383,735	\$58,611,853	\$60,780,737	\$62,959,757	\$65,186,367	\$67,481,605	\$69,858,099	\$29,338,388	\$30,180,888	\$31,055,634
Impuesto a la Renta	\$0	-\$59,069,476	-\$43,440,475	\$13,573,355	\$2,162,325	\$10,612,276	\$15,312,451	\$18,089,509	\$12,776,017	\$13,798,252	\$14,570,576	\$15,223,608	\$15,825,200	\$16,410,799	\$16,999,134	\$17,600,319	\$18,220,033	\$18,861,687	\$7,921,365	\$8,148,840	\$8,385,021
Utilidad Neta Después de Impuesto	\$0	\$159,706,361	\$117,450,174	\$36,698,331	-\$5,846,287	\$28,692,449	\$41,400,331	\$48,908,673	\$34,542,566	\$37,306,386	\$39,394,520	\$41,160,127	\$42,786,653	\$44,369,938	\$45,960,622	\$47,586,048	\$49,261,572	\$50,996,412	\$21,417,023	\$22,032,048	\$22,670,613
Depreciación Sist. Int. Planta de Biogás	\$0	\$8,351,059	\$8,351,059	\$8,351,059	\$8,351,059	\$8,351,059	\$8,351,059	\$8,351,059	\$8,351,059	\$8,351,059	\$8,351,059	\$8,351,059	\$8,351,059	\$8,351,059	\$8,351,059	\$8,351,059	\$8,351,059	\$8,351,059	\$8,351,059	\$8,351,059	\$8,351,059
Inversión Inicial	-\$202,921,172	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
Inversión de Reemplazo	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
Inversión de Capital de Trabajo	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
Valor Libro o Desecho	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
Flujo de Caja	-\$202,921,172	\$168,057,420	\$125,801,232	\$45,049,390	\$2,504,772	-\$20,341,390	-\$33,049,273	-\$40,557,614	-\$26,191,507	-\$28,955,327	-\$31,043,461	-\$32,809,068	-\$34,435,594	-\$36,018,879	-\$37,609,564	-\$39,234,989	-\$40,910,513	-\$42,645,354	-\$13,065,965	-\$13,680,990	-\$14,319,554
V.A.N	\$ -30,616,852																				
TIR	-																				

Tabla 26 Flujo de caja privado escenario III alternativa cogeneración eléctrica y térmica

Flujo de Caja Privado Alternativa Cogeneración Eléctrica Escenario III																					
Periodo	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Año	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037
Precio (\$/kWh)		\$54	\$56	\$58	\$60	\$63	\$65	\$68	\$70	\$73	\$76	\$79	\$82	\$86	\$89	\$93	\$96	\$100	\$104	\$108	\$113
Gen. Elect anual (kWh/año)		2,744,970	2,818,201	1,399,477	694,960	345,107	171,375	85,102	42,261	20,986	10,421	5,175	2,570	1,276	634	315	156	78	39	19	10
Precio servicio secado de leña		\$ 5,624	\$ 5,849	\$ 6,083	\$ 6,327	\$ 6,580	\$ 6,843	\$ 7,117	\$ 7,401	\$ 7,697	\$ 8,005	\$ 8,325	\$ 8,658	\$ 9,005	\$ 9,365	\$ 9,740	\$ 10,129	\$ 10,534	\$ 10,956	\$ 11,394	\$ 11,850
Cantidad de leña seca m3		4,067	4,175	2,073	1,030	511	254	126	63	31	15	8	4	2	1	0	0	0	0	0	0
Ingresos Venta Energía	\$0	\$146,993,120	\$156,951,275	\$81,057,285	\$41,861,931	\$21,619,540	\$11,165,384	\$5,766,348	\$2,978,023	\$1,537,996	\$794,296	\$410,213	\$211,854	\$109,412	\$56,506	\$29,182	\$15,071	\$7,783	\$4,020	\$2,076	\$1,072
Ingresos secado leña	\$0	\$24,505,694	\$26,165,850	\$13,513,320	\$6,978,937	\$3,604,263	\$1,861,417	\$961,326	\$496,476	\$256,404	\$132,420	\$68,388	\$35,319	\$18,240	\$9,420	\$4,865	\$2,513	\$1,298	\$670	\$346	\$179
Gastos Operacionales	\$0	-\$35,520,000	-\$36,940,800	-\$38,418,432	-\$39,955,169	-\$41,553,376	-\$43,215,511	-\$44,944,132	-\$29,043,509	-\$30,205,249	-\$31,413,459	-\$32,669,997	-\$33,976,797	-\$35,335,869	-\$36,749,304	-\$38,219,276	-\$39,748,047	-\$41,337,969	-\$14,106,582	-\$14,670,845	-\$15,257,679
Gastos Mantención	\$0	-\$17,340,000	-\$18,033,600	-\$18,754,944	-\$19,505,142	-\$20,285,347	-\$21,096,761	-\$21,940,632	-\$14,178,334	-\$14,745,468	-\$15,335,287	-\$15,948,698	-\$16,586,646	-\$17,250,112	-\$17,940,116	-\$18,657,721	-\$19,404,030	-\$20,180,191	-\$6,886,490	-\$7,161,950	-\$7,448,428
Depreciación Sist. Int. Planta de Biogás	\$0	-\$13,139,925	-\$13,139,925	-\$13,139,925	-\$13,139,925	-\$13,139,925	-\$13,139,925	-\$13,139,925	-\$13,139,925	-\$13,139,925	-\$13,139,925	-\$13,139,925	-\$13,139,925	-\$13,139,925	-\$13,139,925	-\$13,139,925	-\$13,139,925	-\$13,139,925	-\$13,139,925	-\$13,139,925	-\$13,139,925
Ganancia o Pérdida de Capital	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
Utilidad Antes de Impuesto	\$0	\$105,498,889	\$115,002,800	\$24,257,303	-\$23,759,369	-\$49,754,845	-\$64,425,397	-\$73,297,014	-\$52,887,269	-\$56,296,241	-\$58,961,955	-\$61,280,019	-\$63,456,195	-\$65,598,254	-\$67,763,419	-\$69,982,875	-\$72,274,418	-\$74,649,004	-\$34,128,307	-\$34,970,298	-\$35,844,781
Impuesto a la Renta	\$0	-\$28,484,700	-\$31,050,756	-\$6,549,472	\$6,415,030	\$13,433,808	\$17,394,857	\$19,790,194	\$14,279,563	\$15,199,985	\$15,919,728	\$16,545,605	\$17,133,173	\$17,711,529	\$18,296,123	\$18,895,376	\$19,514,093	\$20,155,231	\$9,214,643	\$9,441,980	\$9,678,091
Utilidad Neta Después de Impuesto	\$0	\$77,014,189	\$83,952,044	\$17,707,831	-\$17,344,339	-\$36,321,037	-\$47,030,540	-\$53,506,820	-\$38,607,707	-\$41,096,256	-\$43,042,227	-\$44,734,414	-\$46,323,023	-\$47,886,725	-\$49,467,296	-\$51,087,499	-\$52,760,325	-\$54,493,773	-\$24,913,664	-\$25,528,317	-\$26,166,690
Depreciación Sist. Int. Planta de Biogás	\$0	\$13,139,925	\$13,139,925	\$13,139,925	\$13,139,925	\$13,139,925	\$13,139,925	\$13,139,925	\$13,139,925	\$13,139,925	\$13,139,925	\$13,139,925	\$13,139,925	\$13,139,925	\$13,139,925	\$13,139,925	\$13,139,925	\$13,139,925	\$13,139,925	\$13,139,925	\$13,139,925
Inversión Inicial	-\$298,698,500	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
Inversión de Reemplazo	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
Inversión de Capital de Trabajo	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
Valor Libro o Desecho	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
Flujo de Caja	-\$298,698,500	\$90,154,114	\$97,091,969	\$30,847,756	-\$4,204,414	-\$23,181,112	-\$33,890,615	-\$40,366,895	-\$25,467,782	-\$27,956,331	-\$29,902,302	-\$31,594,489	-\$33,183,098	-\$34,746,800	-\$36,327,371	-\$37,947,574	-\$39,620,400	-\$41,353,848	-\$11,773,739	-\$12,388,392	-\$13,026,765
V.A.N	-\$ 227,190,404																				

Tabla 27 Flujo de caja social escenario I alternativa generación eléctrica

Flujo de Caja Social Alternativa Generación Eléctrica Escenario I																					
Periodo	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Año	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037
Precio (\$/kWh)		\$54	\$56	\$58	\$60	\$63	\$65	\$68	\$70	\$73	\$76	\$79	\$82	\$86	\$89	\$93	\$96	\$100	\$104	\$108	\$113
Gen. Elect anual (kWh/año)		2,614,257	2,684,001	1,332,836	661,867	328,673	163,214	81,050	40,248	19,987	9,925	4,929	2,447	1,215	604	300	149	74	37	18	9
Ingresos Venta Energía	\$0	\$139,993,448	\$149,477,405	\$77,197,414	\$39,868,505	\$20,590,038	\$10,633,699	\$5,491,760	\$2,836,212	\$1,464,758	\$756,473	\$390,679	\$201,766	\$104,202	\$53,815	\$27,793	\$14,353	\$7,413	\$3,828	\$1,977	\$1,021
Otros Ingresos (Valor Comercial Inversión)	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
Gastos Operacionales	\$0	-\$35,520,000	-\$36,940,800	-\$38,418,432	-\$39,955,169	-\$41,553,376	-\$43,215,511	-\$44,944,132	-\$29,043,509	-\$30,205,249	-\$31,413,459	-\$32,669,997	-\$33,976,797	-\$35,335,869	-\$36,749,304	-\$38,219,276	-\$39,748,047	-\$41,337,969	-\$14,106,582	-\$14,670,845	-\$15,257,679
Gastos Mantención	\$0	-\$17,340,000	-\$18,033,600	-\$18,754,944	-\$19,505,142	-\$20,285,347	-\$21,096,761	-\$21,940,632	-\$14,178,334	-\$14,745,468	-\$15,335,287	-\$15,948,698	-\$16,586,646	-\$17,250,112	-\$17,940,116	-\$18,657,721	-\$19,404,030	-\$20,180,191	-\$6,886,490	-\$7,161,950	-\$7,448,428
Inversión Inicial	-\$202,921,172	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
Inversión de Reemplazo	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
Inversión de Capital de Trabajo	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
Valor Libro o Desecho	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
Flujo de Caja	-\$202,921,172	\$87,133,448	\$94,503,005	\$20,024,038	-\$19,591,806	-\$41,248,685	-\$53,678,574	-\$61,393,003	-\$40,385,631	-\$43,485,959	-\$45,992,273	-\$48,228,016	-\$50,361,677	-\$52,481,779	-\$54,635,605	-\$56,849,204	-\$59,137,723	-\$61,510,747	-\$20,989,244	-\$21,830,818	-\$22,705,086
V.A.N	-\$412,269,376																				
TIR	-																				

Tabla 28 Flujo de caja social escenario I alternativa cogeneración térmica y eléctrica

Flujo de Caja Social Alternativa Cogeneración Térmica y Eléctrica Escenario I																					
Periodo	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Año	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037
Precio (\$/kWh)		\$54	\$56	\$58	\$60	\$63	\$65	\$68	\$70	\$73	\$76	\$79	\$82	\$86	\$89	\$93	\$96	\$100	\$104	\$108	\$113
Gen. Elect anual (kWh/año)		1,829,980	1,878,801	932,985	463,307	230,071	114,250	56,735	28,174	13,991	6,948	3,450	1,713	851	422	210	104	52	26	13	6
Precio servicio secado de leña		\$ 5,624	\$ 5,849	\$ 6,083	\$ 6,327	\$ 6,580	\$ 6,843	\$ 7,117	\$ 7,401	\$ 7,697	\$ 8,005	\$ 8,325	\$ 8,658	\$ 9,005	\$ 9,365	\$ 9,740	\$ 10,129	\$ 10,534	\$ 10,956	\$ 11,394	\$ 11,850
Cantidad de leña seca m3		2,905	2,982	1,481	735	365	181	90	45	22	11	5	3	1	1	0	0	0	0	0	0
Ingresos Venta Energía	\$0	\$139,993,448	\$149,477,405	\$77,197,414	\$39,868,505	\$20,590,038	\$10,633,699	\$5,491,760	\$2,836,212	\$1,464,758	\$756,473	\$390,679	\$201,766	\$104,202	\$53,815	\$27,793	\$14,353	\$7,413	\$3,828	\$1,977	\$1,021
Ingresos Servicio Secado de Leña	\$0	\$16,337,129	\$17,443,900	\$9,008,880	\$4,652,624	\$2,402,842	\$1,240,945	\$640,884	\$330,984	\$170,936	\$88,280	\$45,592	\$23,546	\$12,160	\$6,280	\$3,243	\$1,675	\$865	\$447	\$231	\$119
Otros Ingresos (Valor Comercial Inversión)	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
Gastos Operacionales	\$0	-\$35,520,000	-\$36,940,800	-\$38,418,432	-\$39,955,169	-\$41,553,376	-\$43,215,511	-\$44,944,132	-\$29,043,509	-\$30,205,249	-\$31,413,459	-\$32,669,997	-\$33,976,797	-\$35,335,869	-\$36,749,304	-\$38,219,276	-\$39,748,047	-\$41,337,969	-\$14,106,582	-\$14,670,845	-\$15,257,679
Gastos Mantención	\$0	-\$17,340,000	-\$18,033,600	-\$18,754,944	-\$19,505,142	-\$20,285,347	-\$21,096,761	-\$21,940,632	-\$14,178,334	-\$14,745,468	-\$15,335,287	-\$15,948,698	-\$16,586,646	-\$17,250,112	-\$17,940,116	-\$18,657,721	-\$19,404,030	-\$20,180,191	-\$6,886,490	-\$7,161,950	-\$7,448,428
Inversión Inicial	-\$298,698,500	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
Inversión de Reemplazo	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
Inversión de Capital de Trabajo	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
Valor Libro o Desecho	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
Flujo de Caja	-\$298,698,500	\$61,472,543	\$67,103,684	\$5,873,693	-\$26,899,733	-\$45,022,855	-\$55,627,739	-\$62,399,647	-\$40,905,511	-\$43,754,450	-\$46,130,935	-\$48,299,628	-\$50,398,661	-\$52,500,879	-\$54,645,470	-\$56,854,299	-\$59,140,354	-\$61,512,106	-\$20,989,945	-\$21,831,180	-\$22,705,273
V.A.N	-\$579.809.747																				
TIR	-																				

Tabla 29 Flujo de caja social escenario II alternativa generación eléctrica

Flujo de Caja Social Alternativa Generación Eléctrica Escenario II																					
Periodo	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Año	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037
Precio (\$/kWh)		\$54	\$56	\$58	\$60	\$63	\$65	\$68	\$70	\$73	\$76	\$79	\$82	\$86	\$89	\$93	\$96	\$100	\$104	\$108	\$113
Gen. Elect anual (kWh/año)		3,659,959	3,757,602	1,865,970	926,613	460,143	228,500	113,470	56,347	27,981	13,895	6,900	3,426	1,702	845	420	208	103	51	26	13
Ingresos Venta Energía	\$0	\$195,990,827	\$209,268,367	\$108,076,379	\$55,815,907	\$28,826,054	\$14,887,178	\$7,688,464	\$3,970,697	\$2,050,662	\$1,059,062	\$546,951	\$282,472	\$145,882	\$75,341	\$38,910	\$20,095	\$10,378	\$5,360	\$2,768	\$1,430
Otros Ingresos (Valor Comercial Inversión)	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
Gastos Operacionales	\$0	-\$35,520,000	-\$36,940,800	-\$38,418,432	-\$39,955,169	-\$41,553,376	-\$43,215,511	-\$44,944,132	-\$29,043,509	-\$30,205,249	-\$31,413,459	-\$32,669,997	-\$33,976,797	-\$35,335,869	-\$36,749,304	-\$38,219,276	-\$39,748,047	-\$41,337,969	-\$14,106,582	-\$14,670,845	-\$15,257,679
Gastos Mantención	\$0	-\$17,340,000	-\$18,033,600	-\$18,754,944	-\$19,505,142	-\$20,285,347	-\$21,096,761	-\$21,940,632	-\$14,178,334	-\$14,745,468	-\$15,335,287	-\$15,948,698	-\$16,586,646	-\$17,250,112	-\$17,940,116	-\$18,657,721	-\$19,404,030	-\$20,180,191	-\$6,886,490	-\$7,161,950	-\$7,448,428
Inversión Inicial	-\$202,921,172	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
Inversión de Reemplazo	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
Inversión de Capital de Trabajo	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
Valor Libro o Desecho	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
Flujo de Caja	-\$202,921,172	\$143,130,827	\$154,293,967	\$50,903,003	-\$3,644,404	-\$33,012,670	-\$49,425,094	-\$59,196,299	-\$39,251,146	-\$42,900,055	-\$45,689,684	-\$48,071,744	-\$50,280,971	-\$52,440,099	-\$54,614,079	-\$56,838,087	-\$59,131,982	-\$61,507,782	-\$20,987,712	-\$21,830,027	-\$22,704,677
V.A.N	-\$255.667.639																				
TIR	-																				

Tabla 30 Flujo de caja social escenario I alternativa cogeneración térmica y eléctrica

Flujo de Caja Social Alternativa Cogeneración Térmica y Eléctrica Escenario II																					
Periodo	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Año	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037
Precio (\$/kWh)		\$54	\$56	\$58	\$60	\$63	\$65	\$68	\$70	\$73	\$76	\$79	\$82	\$86	\$89	\$93	\$96	\$100	\$104	\$108	\$113
Gen. Elect anual (kWh/año)		2,561,972	2,630,321	1,306,179	648,629	322,100	159,950	79,429	39,443	19,587	9,727	4,830	2,399	1,191	591	294	146	72	36	18	9
Precio servicio secado de leña		\$ 5,624	\$ 5,849	\$ 6,083	\$ 6,327	\$ 6,580	\$ 6,843	\$ 7,117	\$ 7,401	\$ 7,697	\$ 8,005	\$ 8,325	\$ 8,658	\$ 9,005	\$ 9,365	\$ 9,740	\$ 10,129	\$ 10,534	\$ 10,956	\$ 11,394	\$ 11,850
Cantidad de leña seca m3		4,067	4,175	2,073	1,030	511	254	126	63	31	15	8	4	2	1	0	0	0	0	0	0
Ingresos Venta Energía	\$0	\$137,193,579	\$146,487,857	\$75,653,466	\$39,071,135	\$20,178,238	\$10,421,025	\$5,381,925	\$2,779,488	\$1,435,463	\$741,343	\$382,866	\$197,730	\$102,118	\$52,739	\$27,237	\$14,066	\$7,265	\$3,752	\$1,938	\$1,001
Ingresos Servicio Secado de Leña	\$0	\$22,871,981	\$24,421,460	\$12,612,432	\$6,513,674	\$3,363,979	\$1,737,322	\$897,238	\$463,377	\$239,311	\$123,592	\$63,829	\$32,964	\$17,024	\$8,792	\$4,541	\$2,345	\$1,211	\$625	\$323	\$167
Otros Ingresos (Valor Comercial Inversión)	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
Gastos Operacionales	\$0	-\$35,520,000	-\$36,940,800	-\$38,418,432	-\$39,955,169	-\$41,553,376	-\$43,215,511	-\$44,944,132	-\$29,043,509	-\$30,205,249	-\$31,413,459	-\$32,669,997	-\$33,976,797	-\$35,335,869	-\$36,749,304	-\$38,219,276	-\$39,748,047	-\$41,337,969	-\$14,106,582	-\$14,670,845	-\$15,257,679
Gastos Mantención	\$0	-\$17,340,000	-\$18,033,600	-\$18,754,944	-\$19,505,142	-\$20,285,347	-\$21,096,761	-\$21,940,632	-\$14,178,334	-\$14,745,468	-\$15,335,287	-\$15,948,698	-\$16,586,646	-\$17,250,112	-\$17,940,116	-\$18,657,721	-\$19,404,030	-\$20,180,191	-\$6,886,490	-\$7,161,950	-\$7,448,428
Inversión Inicial	-\$298,698,500	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
Inversión de Reemplazo	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
Inversión de Capital de Trabajo	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
Valor Libro o Desecho	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
Flujo de Caja	-\$298,698,500	\$107,205,560	\$115,934,917	\$31,092,521	-\$13,875,502	-\$38,296,507	-\$52,153,925	-\$60,605,600	-\$39,978,978	-\$43,275,943	-\$45,883,811	-\$48,172,001	-\$50,332,748	-\$52,466,839	-\$54,627,889	-\$56,845,220	-\$59,135,665	-\$61,509,684	-\$20,988,695	-\$21,830,534	-\$22,704,939
V.A.N	-\$451.913.227																				
TIR	-																				

Tabla 31 Flujo de caja social escenario III alternativa generación eléctrica

Flujo de Caja Social Alternativa Generación Eléctrica Escenario III																					
Periodo	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Año	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037
Precio (\$/kWh)		\$54	\$56	\$58	\$60	\$63	\$65	\$68	\$70	\$73	\$76	\$79	\$82	\$86	\$89	\$93	\$96	\$100	\$104	\$108	\$113
Gen. Elect anual (kWh/año)		5,228,513	4,026,002	1,999,253	992,800	493,010	244,821	121,575	60,372	29,980	14,888	7,393	3,671	1,823	905	450	223	111	55	27	14
Ingresos Venta Energía	\$0	\$279,986,896	\$224,216,108	\$115,796,121	\$59,802,758	\$30,885,058	\$15,950,548	\$8,237,640	\$4,254,319	\$2,197,137	\$1,134,709	\$586,019	\$302,649	\$156,303	\$80,722	\$41,689	\$21,530	\$11,119	\$5,743	\$2,966	\$1,532
Otros Ingresos (Valor Comercial Inversión)	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
Gastos Operacionales	\$0	-\$35,520,000	-\$36,940,800	-\$38,418,432	-\$39,955,169	-\$41,553,376	-\$43,215,511	-\$44,944,132	-\$29,043,509	-\$30,205,249	-\$31,413,459	-\$32,669,997	-\$33,976,797	-\$35,335,869	-\$36,749,304	-\$38,219,276	-\$39,748,047	-\$41,337,969	-\$14,106,582	-\$14,670,845	-\$15,257,679
Gastos Mantención	\$0	-\$17,340,000	-\$18,033,600	-\$18,754,944	-\$19,505,142	-\$20,285,347	-\$21,096,761	-\$21,940,632	-\$14,178,334	-\$14,745,468	-\$15,335,287	-\$15,948,698	-\$16,586,646	-\$17,250,112	-\$17,940,116	-\$18,657,721	-\$19,404,030	-\$20,180,191	-\$6,886,490	-\$7,161,950	-\$7,448,428
Inversión Inicial	-\$202,921,172	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
Inversión de Reemplazo	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
Inversión de Capital de Trabajo	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
Valor Libro o Desecho	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
Flujo de Caja	-\$202,921,172	\$227,126,896	\$169,241,708	\$58,622,745	\$342,447	-\$30,953,666	-\$48,361,724	-\$58,647,123	-\$38,967,524	-\$42,753,579	-\$45,614,037	-\$48,032,676	-\$50,260,794	-\$52,429,678	-\$54,608,698	-\$56,835,308	-\$59,130,547	-\$61,507,041	-\$20,987,330	-\$21,829,829	-\$22,704,575
V.A.N	-\$150.482.560																				
TIR	14%																				

Tabla 32 Flujo de caja social escenario I alternativa cogeneración térmica y eléctrica

Flujo de Caja Social Alternativa Cogeneración Térmica y Eléctrica Escenario II																					
Periodo	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Año	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037
Precio (\$/kWh)		\$54	\$56	\$58	\$60	\$63	\$65	\$68	\$70	\$73	\$76	\$79	\$82	\$86	\$89	\$93	\$96	\$100	\$104	\$108	\$113
Gen. Elect anual (kWh/año)		2,744,970	2,818,201	1,399,477	694,960	345,107	171,375	85,102	42,261	20,986	10,421	5,175	2,570	1,276	634	315	156	78	39	19	10
Precio servicio secado de leña		\$ 5,624	\$ 5,849	\$ 6,083	\$ 6,327	\$ 6,580	\$ 6,843	\$ 7,117	\$ 7,401	\$ 7,697	\$ 8,005	\$ 8,325	\$ 8,658	\$ 9,005	\$ 9,365	\$ 9,740	\$ 10,129	\$ 10,534	\$ 10,956	\$ 11,394	\$ 11,850
Cantidad de leña seca m3		4,357	4,473	2,221	1,103	548	272	135	67	33	17	8	4	2	1	0	0	0	0	0	0
Ingresos Venta Energía	\$0	\$146,993,120	\$156,951,275	\$81,057,285	\$41,861,931	\$21,619,540	\$11,165,384	\$5,766,348	\$2,978,023	\$1,537,996	\$794,296	\$410,213	\$211,854	\$109,412	\$56,506	\$29,182	\$15,071	\$7,783	\$4,020	\$2,076	\$1,072
Ingresos Servicio Secado de Leña	\$0	\$24,505,694	\$26,165,850	\$13,513,320	\$6,978,937	\$3,604,263	\$1,861,417	\$961,326	\$496,476	\$256,404	\$132,420	\$68,388	\$35,319	\$18,240	\$9,420	\$4,865	\$2,513	\$1,298	\$670	\$346	\$179
Otros Ingresos (Valor Comercial Inversión)	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
Gastos Operacionales	\$0	-\$35,520,000	-\$36,940,800	-\$38,418,432	-\$39,955,169	-\$41,553,376	-\$43,215,511	-\$44,944,132	-\$29,043,509	-\$30,205,249	-\$31,413,459	-\$32,669,997	-\$33,976,797	-\$35,335,869	-\$36,749,304	-\$38,219,276	-\$39,748,047	-\$41,337,969	-\$14,106,582	-\$14,670,845	-\$15,257,679
Gastos Mantención	\$0	-\$17,340,000	-\$18,033,600	-\$18,754,944	-\$19,505,142	-\$20,285,347	-\$21,096,761	-\$21,940,632	-\$14,178,334	-\$14,745,468	-\$15,335,287	-\$15,948,698	-\$16,586,646	-\$17,250,112	-\$17,940,116	-\$18,657,721	-\$19,404,030	-\$20,180,191	-\$6,886,490	-\$7,161,950	-\$7,448,428
Inversión Inicial	-\$298,698,500	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
Inversión de Reemplazo	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
Inversión de Capital de Trabajo	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
Valor Libro o Desecho	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
Flujo de Caja	-\$298,698,500	\$118,638,814	\$128,142,725	\$37,397,228	-\$10,619,444	-\$36,614,920	-\$51,285,472	-\$60,157,089	-\$39,747,344	-\$43,156,316	-\$45,822,030	-\$48,140,094	-\$50,316,270	-\$52,458,329	-\$54,623,494	-\$56,842,950	-\$59,134,493	-\$61,509,079	-\$20,988,382	-\$21,830,373	-\$22,704,856
V.A.N	-\$419.939.097																				
TIR	-																				