

24 de noviembre 2022

Identificación de proyectos colectivos o distritales basados en Economía Circular que permitan la valorización de residuos industriales no peligrosos en tres zonas de estudio.

Desarrollado por: ImplementaSur
(Asesorías en Negocios y Sustentabilidad SpA).

A solicitud del Programa Territorio Circular:



Informe final consultoría solicitada por Programa Territorio Circular, Programa impulsado desde fines del año 2021 por la Corporación de Fomento de la Producción (CORFO) y el Ministerio del Medio Ambiente (MMA) e implementado por SOFOFA Hub que busca, a través de un trabajo colaborativo y de articulación público-privada en distintos sectores productivos, generar condiciones habilitantes que contribuyan a una eficaz implementación de la Hoja de Ruta para un Chile Circular al 2040¹ y acelerar la transición de los territorios a este nuevo modelo de producción y consumo.

Mandante: Programa Territorio Circular

Entidades colaboradoras



¹ Más información en: <https://economiecircular.mma.gob.cl/hoja-de-ruta/>

Resumen Ejecutivo

Esta consultoría, solicitada por el Programa Territorio Circular, busca ser un aporte a tomadores de decisión al proponer un portafolio inicial de proyectos de Economía Circular que permitan la valorización de residuos industriales no peligrosos, e incorporarlos nuevamente al ciclo productivo, buscando así una colaboración estratégica para soluciones de Economía Circular de alto impacto.

Para generar el portafolio de perfil de proyectos se ejecutaron tres actividades principales para cada una de las zonas de estudio, establecidas en la Región de Los Lagos, Región del Maule y Valle de Casablanca, Región de Valparaíso). La **primera actividad** consistió en un análisis sobre generación de residuos industriales en base a información del RETC, APLs, entrevistas, cuestionarios, e información bibliográfica. A partir de este análisis se priorizaron distintos residuos por cada zona de estudio para evaluar su potencial valorización. La **segunda actividad** consistió en la definición de los tipos de proyectos con mayor potencial para el tratamiento de los residuos priorizados, considerando el contexto geográfico como normativo en el que se implementarían, experiencias similares a nivel nacional e internacional, y la compatibilidad con el tipo de residuo identificado. Finalmente, en la **tercera actividad**, se desarrollaron las barreras y oportunidades específicas para la implementación de los proyectos para cada zona de estudio. Además, se dieron a conocer las posibles soluciones para una simbiosis industrial para el desarrollo de sistemas de valorización colectiva.

En el Valle de Casablanca, se identificó el potencial de valorización de 1.316 toneladas por año (TPA) de residuos orgánicos provenientes de actividades vinícolas, como el escobajo y orujo, como también residuos provenientes de poda, y de mermas de productos en fase de elaboración como cáscaras, café, frutas, residuos de cocina, tabaco, entre otros. Para residuos inorgánicos se identificó un potencial de valorización de 31.641 TPA de mezcla de purines provenientes de la industria lechera y materiales inadecuados para el consumo o la elaboración (mermas de productos).

En la Región del Maule se identificó que los residuos orgánicos relacionados al cultivo de frutas, verduras y hortalizas presentaban un gran potencial de valorización en la zona, desde donde se estimó de forma indirecta una cantidad de residuos valorizables de 97.054 TPA. En cuanto a los residuos inorgánicos, destaca la importancia de los plásticos como posible residuo valorizable estimado en 1.428 TPA de LDPE y HDPE provenientes del sector agrícola y ganadero.

En la Región de Los Lagos se identificó que los lodos industriales y restos de tejidos de animales tienen gran potencial de valorización con una estimación de 49.467 TPA. Y, en relación con los residuos inorgánicos, se identificó que los residuos plásticos provenientes de la acuicultura y mitilicultura presentan un potencial de valorización, en particular las boyas con un estimado de 1.200 TPA potencialmente rescatables y valorizables.

De esta primera etapa se concluyó la necesidad de tener una base sólida de información para la realización de este tipo de estudios. El RETC requiere de mayor fiscalización para la verificación en la declaración de las empresas que generan más de 12 toneladas de residuos. También quedó evidenciado el desconocimiento o la falta de acuerdos en relación con las categorías en las que deben declarar sus residuos. Otra desventaja del RETC como fuente de información válida para el análisis, se debe a que muchas empresas, al generar menos de 12 toneladas, no declaran sus residuos y se desconoce cuánto de esos residuos no se están valorizando actualmente.

A partir del análisis y priorización anterior, se presentó una cartera seleccionada de proyectos por zona estudiada. En el Valle de Casablanca se consideró un proyecto de compostaje y otro de digestión anaeróbica para el tratamiento de residuos orgánicos provenientes del rubro vitivinícola, lechero y de elaboración de productos alimenticios. En la Región del Maule se propone un proyecto de compostaje

de residuos orgánicos agrícolas y ganaderos, y una planta de reciclaje para residuos plásticos agrícolas. Para la Región de Los Lagos se propuso una planta de digestión anaeróbica para el tratamiento de residuos orgánicos provenientes de la industria acuícola, ganadera y láctea, y una planta de reciclaje para boyas plásticas provenientes de acuicultura y mitilicultura.

Como resultado de este análisis, si se implementaran cada uno de los proyectos de la cartera propuesta se movilizaría una inversión de más de \$26.000.000 de USD, se generarían entre 100 y 106 empleos y se reducirían total de 1.683.987 tCO₂ en 20 años. Lo anterior, con una capacidad de tratamiento para un total de 204.062 TPA de residuos orgánicos e inorgánicos provenientes del sector industrial de la comuna de Casablanca, de la región del Maule y de la región de Los Lagos.

Glosario

APL: Acuerdos de Producción Limpia.

ASCC: Agencia de Sustentabilidad y Cambio Climático.

CAPEX: Capital Expenditure – Gastos de Capital.

CHP: Sistemas combinados de calefacción y suministro eléctrico.

CLP: Peso chileno.

CORFO: Corporación de Fomento de la Producción.

CSTR: Reactor de tanque agitado continuo.

DEG-KfW: Deutsche Investitions - und Entwicklungsgesellschaft (Compañía Alemana de Inversión).

ENRO: Estrategia Nacional de Residuos Orgánicos.

ERD: Estrategia Regional de Desarrollo.

EUR: Euro.

Fondo PL: Fondo de Promoción de Producción Limpia.

GCF: Green Climate Fund.

GEF: Global Environment Facility.

GEI: Gases de efecto invernadero.

ha: Hectárea.

HDPE: Polietileno de alta densidad.

LDPE: Polietileno de baja densidad.

IFC: Informe de Factibilidad para Construcciones.

IPT: Instrumentos de planificación territorial.

LAIF: Latin America Investment Facility.

LCBA: Low Carbon Business Action.

LDPE: Polietileno

Ley REP: Ley de Responsabilidad Extendida del Productor.

MINVU: Ministerio de Vivienda y Urbanismo.

MMA: Ministerio del Medio Ambiente.

MW: Megavatio.

NCh: Norma Chilena.

NGI: Non Grant Instruments.

ODA: Official Development Assistance.

OPEX: Operational Expenditure – Gastos Operacionales.

PA: Poliamida.

PE: Polietileno de alta densidad.

PET: Polietileno Tereftalato.

PP: Polipropileno.

PRI: Plan Regulador Intercomunal.

PRC: Plan Regulador Comunal.

PS: Poliestireno.

pyme: Pequeña y Mediana Empresa.

RETC: Registro de Emisiones y Transferencias de Contaminantes.

RILes: Residuos Industriales Líquidos.

RSEIA: Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental.

SAG: Servicio Agrícola y Ganadero.

SAP: Simplified Approval Process.

SCF Fund: Sub-national Climate Fund.

SEIA: Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental.

SEREMI: Secretaría Regional Ministerial.

SINADER: Sistema Nacional de Declaración de Residuos.

tCO₂e: Toneladas de CO₂ equivalentes. Unidad de medida para gases de efecto invernadero.

Ton: Toneladas.

TPA: Toneladas por año.

UE: Unión Europea.

USD: Dólar estadounidense.

Tabla de contenidos

Resumen Ejecutivo	iii
Glosario.....	v
Tabla de contenidos.....	vii
1. Introducción.....	1
2. Definición de residuos sólidos no peligrosos de interés por territorio.....	2
2.1 Valle de Casablanca, Región de Valparaíso.....	2
2.2 Región del Maule	5
2.3 Región de Los Lagos	7
3. Diagnóstico normativo y regulatorio	10
3.1 Marco normativo y regulatorio.....	10
3.1.1 Acuerdos de producción Limpia.....	11
3.1.2 Relativos a manejo de lodos y desechos específicos	12
3.1.3 Normas chilenas relacionadas con el manejo de residuos industriales no peligrosos.	13
3.2 Instrumentos de planificación territorial de las zonas de interés.....	13
4. Identificación de condiciones habilitantes para el desarrollo de los proyectos	16
4.1 Marco regulatorio	16
4.2 Marco político e institucional	16
4.3 Marco financiero.....	17
5. Análisis de tecnologías para los tipos de residuos priorizados	19
5.1 Identificación de tecnologías existentes para el tratamiento de los residuos de interés....	19
5.1.1 Compostaje	19
5.1.2 Digestión anaeróbica	21
5.1.3 Tratamiento de plásticos	23
5.2 Experiencias nacionales e internacionales de la aplicación de las tecnologías identificadas	25
5.2.1 Compostaje	25
5.2.2 Digestión anaeróbica	27
5.2.3 Reciclaje mecánico de plásticos	28
6. Análisis y desarrollo de la propuesta de la cartera de proyectos	31
6.1 Valle de Casablanca, Región de Valparaíso.....	31
6.1.1 Compostaje de residuos orgánicos industriales.....	31
6.1.2 Planta de digestión anaeróbica para el tratamiento de residuos orgánicos industriales	35
6.2 Región del Maule	39
6.2.1 Compostaje de residuos orgánicos industriales.....	39

6.2.2	Planta de reciclaje para residuos plásticos agrícolas	43
6.3	Región de Los Lagos	46
6.3.1	Planta de digestión anaeróbica para el tratamiento de residuos orgánicos industriales 46	
6.3.2	Planta de reciclaje para residuos plásticos de acuicultura y mitilicultura.....	49
6.4	Resumen cartera de proyectos	52
7.	Barreras y oportunidades en el desarrollo de proyectos	54
7.1	Barreras generales	54
7.2	Tratamiento de Residuos	55
7.2.1	Compostaje	55
7.2.2	Digestión anaeróbica	56
7.2.3	Gestión de plásticos	56
7.3	Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes (RETC).....	58
8.	Desarrollo de propuesta conceptual con próximos pasos a seguir	59
8.1	Identificación de posibles modelos de negocio	60
8.1.1	Modelo de negocios para un proyecto de compostaje.....	60
8.1.2	Modelo de negocios para un proyecto de digestión anaeróbica.....	62
8.1.3	Modelo de negocio para una planta de reciclaje de plásticos	65
8.2	Identificación de los actores clave	67
8.2.1	Proyectos de plantas de compostaje	67
8.2.2	Proyectos de plantas de digestión anaeróbica	68
8.2.3	Proyectos de plantas de reciclaje de plásticos.....	69
8.3	Búsqueda de opciones de financiamiento de los proyectos.....	70
8.3.1	Non Grant Instruments (NGI) - Global Environment Facility (GEF).....	70
8.3.2	GCF Simplified Approval Process (SAP)	71
8.3.3	Latin America investment Facility (LAIF) – European Union	71
8.3.4	Crédito Verde CORFO.....	72
8.3.5	Bienes Públicos CORFO	72
8.3.6	Financiamiento Economía Circular Banco Estado	73
8.3.7	Low Carbon Business Action (LCBA).....	73
8.3.8	Sub-national Climate Finance Fund (SCF Fund)	73
8.3.9	DEG – KfW (Development Bank)	74
8.4	Búsqueda de sinergias entre empresas para el desarrollo de los proyectos.....	74
9.	Conclusiones generales y comentarios finales	76
10.	Referencias	77
11.	Anexos	83

11.1	Anexo 1: Comuna de Casablanca	83
11.2	Anexo 2: Región del Maule	89
11.3	Anexo 3: Región de Los Lagos	92
11.4	Anexo 4: Entrevista a otros actores importantes	95
11.5	Anexo 5: Ubicación Planta de Compostaje Región del Maule	95
11.1	Anexo 6: Detalles de la cuantificación de residuos seleccionados.	98
11.2	Anexo 7: Información complementaria estimación de emisiones.....	102

Índice de Tablas

Tabla 2-1: Residuos generados por actividad en el Valle de Casablanca.....	2
Tabla 2-2: Entrevistas realizadas a principales actores del Valle de Casablanca, Región de Valparaíso.	3
Tabla 2-3: Residuos orgánicos de interés en el Valle de Casablanca, Región de Valparaíso.	3
Tabla 2-4: Residuos orgánicos de interés en el Valle de Casablanca, Región de Valparaíso.	4
Tabla 2-5: Estimación de residuos orgánicos de interés en la Región del Maule.	6
Tabla 2-6: Entrevistas realizadas a los principales actores de la Región del Maule.....	6
Tabla 2-7: Entrevistas realizadas a los principales actores de la Región de Los Lagos.....	8
Tabla 2-8: Residuos orgánicos de interés en la Región de Los Lagos.....	9
Tabla 3-1: Marco regulatorio general.	10
Tabla 3-2: Normativa sobre Acuerdos de Producción Limpia.....	12
Tabla 3-3: Reglamento sobre manejo de lodos y desechos específicos.	12
Tabla 3-4: Normas chilenas relacionadas con el manejo de residuos industriales no peligrosos	13
Tabla 6-1: Ubicación del área propuesta – Valle de Casablanca, Región de Valparaíso.	33
Tabla 6-2: Distancias entre las viñas hacia el área propuesta – Valle de Casablanca, Región de Valparaíso.	33
Tabla 6-3: Perfil de proyecto de compostaje – Valle de Casablanca, Región de Valparaíso.....	34
Tabla 6-4: Ubicación del área propuesta – Valle de Casablanca.....	37
Tabla 6-5: Perfil de proyecto de digestión anaeróbica – Valle de Casablanca.....	38
Tabla 6-6: Caracterización de residuos orgánicos a tratar en el proyecto.....	39
Tabla 6-7: Ubicación del área propuesta – Región del Maule	42
Tabla 6-8: Perfil de proyecto de residuos orgánicos – Región del Maule	42
Tabla 6-9: Ubicación del área propuesta para la planta de reciclaje de plásticos –Región del Maule.	45
Tabla 6-10: Perfil de proyecto para planta de reciclaje de plásticos – Región del Maule.	45
Tabla 6-11: Ubicación del área propuesta – Región de Los Lagos.	48
Tabla 6-12: Perfil de proyecto de digestión anaeróbica – Región del Los Lagos.	49
Tabla 6-13: Coordenadas geográficas de propuesta de ubicación – Región de Los Lagos.	51
Tabla 6-14: Perfil de proyecto para planta de reciclaje de plásticos – Región de Los Lagos.	52
Tabla 6-15: Resumen cartera de proyectos propuesta.....	52
Tabla 8-1: Principales costos e ingresos de las plantas de compostaje de la cartera de proyectos.	61
Tabla 8-2: Principales costos e ingresos de las plantas de digestión anaeróbica de la cartera de proyectos.	64
Tabla 8-3: Principales costos e ingresos de las plantas de reciclaje de plásticos de la cartera de proyectos.	66

Tabla 8-4: Características NGI.....	71
Tabla 8-5: Características SAP.....	71
Tabla 8-6: Características LAIF.....	72
Tabla 8-7: Características Crédito Verde CORFO.....	72
Tabla 8-8: Características Bienes Públicos CORFO.....	72
Tabla 8-9: Características Financiamiento Economía Circular Banco Estado.....	73
Tabla 8-10: Características LCBA.....	73
Tabla 8-11: Características SCF Fund.....	74
Tabla 8-12: Características DEG.....	74

¡Error! Marcador no definido.

Índice de Figuras

Figura 2-1: Zonas de disposición de residuos en el Valle de Casablanca.....	3
Figura 2-2: Residuos generados por actividad en la Región del Maule.....	5
Figura 2-3: <i>Izquierda:</i> Cantidad de residuos no valorizados dispuestos en la Región del Maule. <i>Derecha:</i> Zonas de disposición de residuos en la Región del Maule.....	5
Figura 2-4: Residuos generados por actividad en la Región de Los Lagos.....	7
Figura 2-: <i>Izquierda:</i> Cantidad de residuos no valorizados dispuestos en la Región de Los Lagos. <i>Derecha:</i> Zonas de disposición de residuos en la Región de Los Lagos.....	8
Figura 4-1: Infografía de Estrategia Nacional de Residuos Orgánicos (ENRO).....	17
Figura 4-2: Procedimiento para la generación de estructuras de financiamiento mixto para proyectos de valorización de residuos.....	18
Figura 5-1: Proceso de compostaje.....	19
Figura 5-2: Procesos en una planta de digestión anaeróbica.....	22
Figura 5-3: Métodos de tratamiento asociados al ciclo productivo de los plásticos.....	24
Figura 5-4: Pasos del reciclado mecánico de plástico.....	25
Figura 6-1: Ubicación del área propuesta para la planta de compostaje – Valle de Casablanca, Región de Valparaíso.....	33
Figura 6-2: Ubicación del área propuesta para la planta de digestión anaeróbica-Comuna de Casablanca.....	37
Figura 6-3: Empresas Agroindustriales. <i>Izquierda:</i> Fuente Maule Alimenta. <i>Derecha:</i> Fuente RETC – Región del Maule.....	41
Figura 6-4: Ubicación del área propuesta para la planta de compostaje – Región del Maule.....	42
Figura 6-5: Ubicación del área propuesta para la planta recicladora de plásticos –Región del Maule.....	44
Figura 6-6: Ubicación del área propuesta para la planta de digestión anaeróbica– Región de Los Lagos.....	48
Figura 6-7: Propuesta de ubicación para el proyecto de valorización de plásticos en la Región de Los Lagos.....	51
Figura 8-1: Esquema del modelo de negocio de una planta de compostaje.....	60
Figura 8-2: Esquema del modelo de negocio de una planta de digestión anaeróbica.....	63
Figura 8-3: Esquema del modelo de negocio de una planta de reciclaje de plástico.....	65
Figura 8-4: Actores clave de una planta de compostaje.....	68
Figura 8-5: Actores clave de una planta de digestión anaeróbica.....	69
Figura 8-6: Actores clave de una planta de reciclaje de plásticos.....	70

1. Introducción

La economía circular busca lograr el mínimo impacto ambiental de los productos, servicios y procesos, mediante una planificación y diseño inteligente, la extensión de la vida útil y el uso eficiente de los materiales para disminuir la cantidad de residuos que son generados.

Para apoyar el desarrollo de la economía circular y fortalecer la puesta en marcha de la Hoja de Ruta de Economía Circular de Chile, se crea el Programa Territorio Circular, apoyado por la Corporación de Fomento de la Producción (CORFO) y el Ministerio del Medio Ambiente (MMA), implementado por SOFOFA Hub. El programa busca acelerar la transición hacia una economía circular, mediante la articulación de sectores públicos y privados en diversas matrices productivas del país, para aumentar la competitividad y la sostenibilidad de los territorios.

El objetivo general de esta consultoría consistió en la identificación de oportunidades que permitan una adecuada gestión de los residuos industriales no peligrosos de los principales sectores productivos del Valle de Casablanca, Región del Maule y Región de Los Lagos, en el marco de la economía circular. Para ello, se realizó un análisis sobre la generación y disposición de residuos sólidos no peligrosos basado preliminarmente en el Registro de Emisiones y Transferencias de Contaminantes (RETC), que fue complementado con entrevistas a los principales actores por cada zona de estudio, además de la revisión de información bibliográfica y Acuerdos de Producción Limpia (APL) disponibles.

A partir de la información recabada se generó un portafolio de perfil de proyectos con soluciones para la valorización de residuos orgánicos y residuos inorgánicos, que incorpora las barreras y oportunidades específicas para su implementación. El desarrollo contempló una propuesta conceptual del plan de acción que oriente cómo seguir con la cartera de proyectos considerando la identificación de posibles modelos de negocio con estimación de presupuesto, identificación de los actores clave, opciones de financiamiento, estimación del potencial de reducción de emisiones, generación de empleos y sinergias entre empresas para el desarrollo de los proyectos.

2. Definición de residuos sólidos no peligrosos de interés por territorio

La definición de los residuos sólidos no peligrosos de interés para las comunas y regiones seleccionadas se realizó siguiendo las siguientes etapas:



Levantamiento de información sobre generación de residuos industriales no peligrosos mediante el Sistema Nacional de Declaración de Residuos (SINADER), con el que se identificaron algunas empresas generadoras, la cantidad y tipos de residuos que estos generan en el territorio, y, el tratamiento y valorización que reciben.



Envío de cuestionario a los grandes generadores de residuos con el objetivo de levantar mayores detalles sobre la generación de los residuos y obtener información sobre los tratamientos que actualmente realizan.



Entrevistas a empresas generadoras, empresas valorizadoras, autoridades regionales, programas estratégicos, entre otros.



Revisión de APLs y otros documentos bibliográficos.

La información analizada desde el RETC corresponde a residuos declarados en el año 2020, por lo que no es información actualizada y fue necesaria su validación mediante las entrevistas a los diferentes actores de cada sector, y los cuestionarios enviados a los principales generadores de cada territorio. Para más detalles sobre el análisis y principales hallazgos de las entrevistas y APLs referirse al Anexo 8. De manera complementaria, para aquellos residuos que fueron identificados cualitativamente como interesantes para ser valorizados, se realizaron estimaciones integrando distintas fuentes de información encontradas. Para más detalle, revisar el Anexo 6.

A continuación, se destacan los aspectos más relevantes identificados para la definición de los residuos de interés por cada territorio.

2.1 Valle de Casablanca, Región de Valparaíso



Según el RETC (2020), el Valle de Casablanca genera aproximadamente 19.000 toneladas por año (TPA) de residuos industriales no peligrosos, de las cuales un 12% no se valoriza. Estos residuos están asociados principalmente a la elaboración de productos alimenticios y la elaboración de cigarrillos (Tabla 2-1).

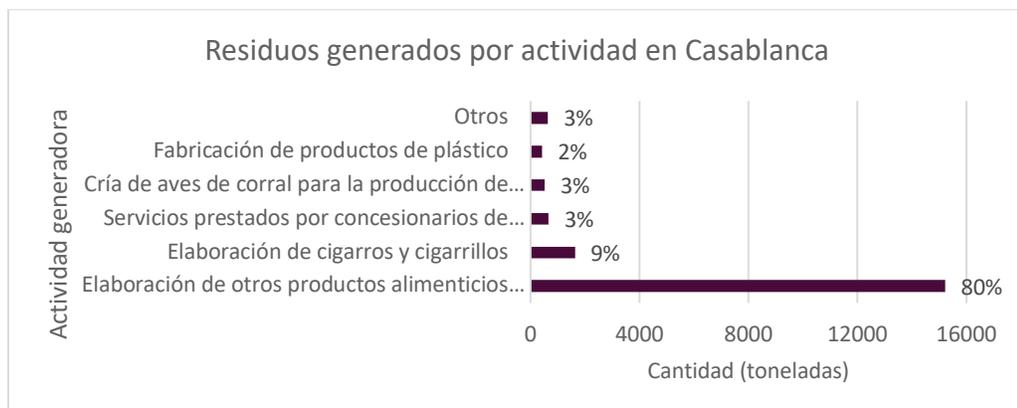


Figura 2-1: Zonas de disposición de residuos en el Valle de Casablanca.

Fuente: Elaboración propia

Las principales zonas de disposición de los residuos corresponden a las comunas de Talagante y Valparaíso (Figura 2-1). Los colores en las barras del mapa representan los distintos tipos de disposición que existen en la comuna. Un 32% de los residuos no valorizados se dispone según la categoría Disposición Final y un 68% en Relleno Sanitario.

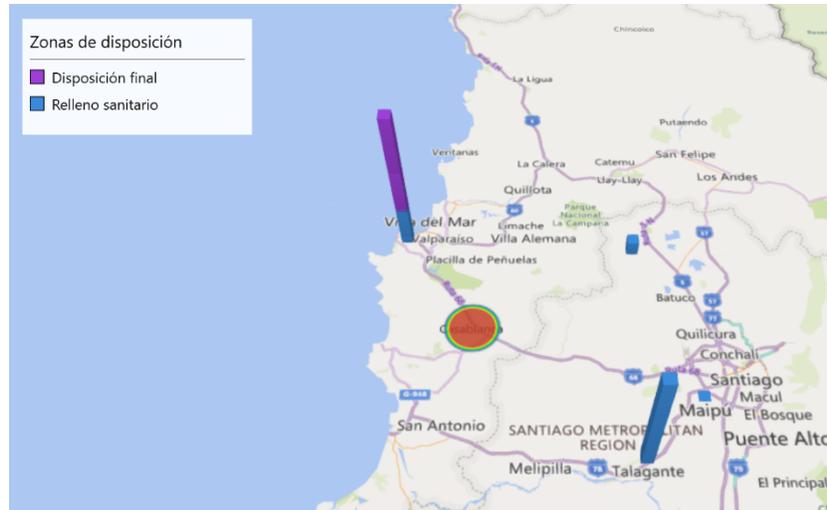


Figura 2-2: Zonas de disposición de residuos en el Valle de Casablanca.

Fuente: Elaboración propia

A través de entrevistas realizadas a los principales actores de la comuna (Tabla 2-2) se pudo confirmar el potencial de valorización identificado, de residuos orgánicos provenientes de actividades vitivinícolas, como el escobajo y orujo, como también los residuos provenientes de poda, y de mermas de productos en fase de elaboración como cáscaras, café, frutas, residuos de cocina, tabaco, entre otros.

Tabla 2-1: Entrevistas realizadas a principales actores del Valle de Casablanca, Región de Valparaíso.

Empresa/ Institución/ Programa	Representante
TresMontes Luchetti	Valeria Stuardo
British American Tobacco	Camila Gatica - Julio Sarmiento
SEREMI de Medio Ambiente	Christian Fuentes
Sostenibilidad y Relacionamiento Comunitario Casablanca	Valeria Serrano
CTI Casablanca	Alexa González

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con el Diagnóstico sectorial y Propuesta de Acuerdo de Producción Limpia del Sector de Productores de vino de Casablanca y la información recogida desde el RETC, se estima que se generan alrededor de 1.316 toneladas anuales de residuos de este tipo que pueden ser valorizadas (Tabla 2-3).

Tabla 2-2: Residuos orgánicos de interés en el Valle de Casablanca, Región de Valparaíso.

Actividad productiva	Tipo de residuo	Cantidad (TPA)
Vitivinícola	Escobajo y orujo	365
	Poda	535
Elaboración de alimentos (TresMontes Luchetti)	Materiales inadecuados para el consumo o la elaboración	416
Total		1.316

Fuente: Elaboración propia

Respecto a residuos inorgánicos, a partir del análisis del RETC se detectó que BAT y TresMontes Luchetti durante el año 2020 dispusieron residuos inorgánicos en relleno sanitario y vertedero, sin embargo, en entrevistas realizadas a ambos actores, se indica que en la actualidad ya gestionan casi

la totalidad de los residuos inorgánicos, y que los residuos no valorizados corresponden a mezclas que no tienen potencial de valorización dada su composición. BAT trabaja el manejo de residuos con la empresa Veolia quiénes buscan soluciones para los residuos generados por la empresa. Por su parte, TresMontes Luchetti recicla pallets, cartones, tambores, PET, aceite snack o casino y frascos de vidrios y composta lodos de plantas de tratamiento, lodos grasos y cenizas de caldera biomasa.

Por otro lado, a través de una entrevista con el Departamento de Gestión Ambiental de la Ilustre Municipalidad de Casablanca, se identificó un bajo volumen de generación anual para plásticos agrícolas, los cuales ya cuentan con infraestructura de valorización en la zona (empresa Revalora). Adicionalmente, en el documento de diagnóstico del APL Vitivinícola se declaran volúmenes de residuos inorgánicos poco atractivos como para proponer un nuevo proyecto de valorización. Debido a esto, se desestimó la opción de proponer un proyecto de valorización de inorgánicos en la comuna y se procedió a buscar una oportunidad de generar un proyecto adicional relacionado con residuos orgánicos.

A partir de las entrevistas realizadas con la Municipalidad de Casablanca, se identificó un potencial de valorización de purines provenientes de la industria lechera en la región. Actualmente no existe un manejo adecuado para estos residuos y son enterrados con la posibilidad de producir malos olores y atraer vectores como moscas, ratones, entre otros. Se estimó una cantidad de residuos valorizables de 31.641 TPA, que considera una mezcla de purines y materiales inadecuados para el consumo o la elaboración (glosa determinada por RETC).

Tabla 2-3: Residuos orgánicos de interés en el Valle de Casablanca, Región de Valparaíso.

Actividad Productiva	Tipo de residuo	Cantidad (TPA)
Elaboración de alimentos	Materiales inadecuados para el consumo o la elaboración	12.159
Producción Lechera	Purines	19.482
Total	Mezcla materiales + purines	31.641

Fuente: Elaboración propia

Este volumen de residuos sí podría justificar la inversión por un proyecto de valorización industrial en la Comuna.

2.2 Región del Maule



Las principales actividades económicas de la Región del Maule están vinculadas a actividades silvoagropecuarias, como los cultivos de remolacha, arroz, fruticultura, plantaciones forestales y productos de la madera, y los cultivos vinícolas (Información Región del Maule, 2019). Según RETC (2020), para el 2020, estas actividades generaron aproximadamente 265.000 TPA de residuos industriales no peligrosos, de las cuales 45.000 toneladas no fueron valorizadas (Figura 2-2).

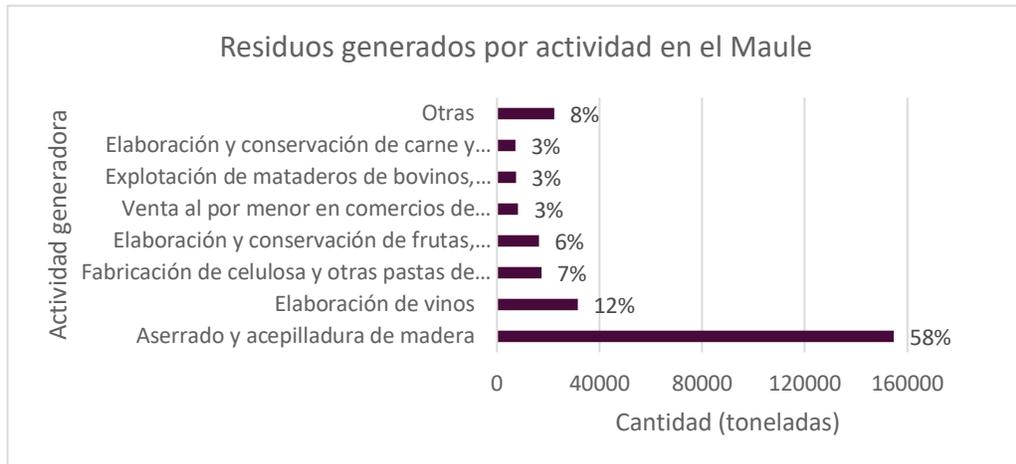


Figura 2-3: Residuos generados por actividad en la Región del Maule.

Fuente: Elaboración propia

Las zonas de disposición de los residuos no valorizados se distribuyen a lo largo de toda la región, sin embargo, la mayor cantidad de residuos se disponen en las comunas de Río Claro, Talca y Licantén (Figura 2-3). Los colores en las barras del mapa representan los distintos tipos de disposición que existen en la región. Un 29% de los residuos no valorizados se dispone en Vertederos y un 71% en Relleno Sanitario. Esto considerando un total de más de 45 mil toneladas de residuos. Cabe destacar que la SEREMI de Medio Ambiente de la Región del Maule informó que la disposición que se lleva a cabo en la comuna de Licantén es de carácter privado de la empresa Celulosa Arauco y no corresponde a un vertedero si no a un sitio de disposición de la empresa.



Figura 2-4: *Izquierda:* Cantidad de residuos no valorizados dispuestos en la Región del Maule. *Derecha:* Zonas de disposición de residuos en la Región del Maule.

Fuente: Elaboración propia

Mediante el análisis de diversas fuentes de información (Anexo 8.2), se identificó que los residuos orgánicos relacionados al cultivo de frutas, verduras y hortalizas presentaban gran potencial de

valorización en la zona. Sin embargo, debido a la falta de información actualizada en la base de datos del RETC, no se pudo obtener de manera directa la generación de este tipo de residuos en la Región. Por lo que se estimó de forma indirecta mediante el uso de otras fuentes de información, una generación de residuos orgánicos de 97.054 TPA (Tabla 2-5). El detalle de la estimación y las fuentes utilizadas se presentan en el Anexo 6.

Tabla 2-4: Estimación de residuos orgánicos de interés en la Región del Maule.

Tipo de cultivo	Residuos orgánicos no valorizados (ton)
Frutal	21.232
Hortícola	436
Vitivinícola	14.628
Otros	60.758
Total	97.054

Fuente: Elaboración propia

En cuanto a los residuos inorgánicos que destacan por su potencial de valorización en la Región, se realizaron entrevistas a diversos representantes (Tabla 2-6) desde donde se identificó la importancia de los plásticos como posible residuo valorizable estimado en 1.428 TPA aproximadamente compuesto, principalmente, de LDPE y HDPE provenientes del sector agrícola y ganadero. No es posible determinar con certeza el manejo que se les da a dichos residuos actualmente, sin embargo, según un proyecto de mejoramiento de gestión de plásticos en el Maule el 2018, el 49% de los agricultores encuestados declaró quemar los residuos, un 10% enviaba a disposición final, un 29% segregaba los plásticos agrícolas y un 6% les daba otro tipo de manejo (Ministerio del Medio Ambiente, 2018).

Tabla 2-5: Entrevistas realizadas a los principales actores de la Región del Maule.

Empresa/ Institución/ Programa	Representante
SEREMI del Medio Ambiente	Mario Aravena María Vicenta Lobos
Arauco	Pablo Ramírez de Arellano
Territorio Maule Circular	Coté Castañeda
Magíster en Análisis de Ciclo de Vida en la Construcción	Juan Viveros
Coexca	Carlos Hlousek Isaí Moya

Fuente: Elaboración propia

2.3 Región de Los Lagos



La Región de Los Lagos tiene como principales actividades económicas la ganadería, acuicultura e industria forestal (Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, 2022). Respecto a la generación de residuos en el territorio, se tiene que las actividades relacionadas a la acuicultura, la elaboración y conservación de salmones, y al cultivo y crianza de peces marinos generan el 65% de los residuos totales.

De acuerdo con la base de datos del RETC, en el 2020 los residuos generados por estas y otras actividades se estimaron en 511.291 toneladas, de los cuales cerca del 26,4% (135.000 toneladas) representan un potencial de valorización, cuyos residuos más abundantes corresponden a lodos de tratamiento de efluentes de la preparación y elaboración de pescados (Figura 2-4).

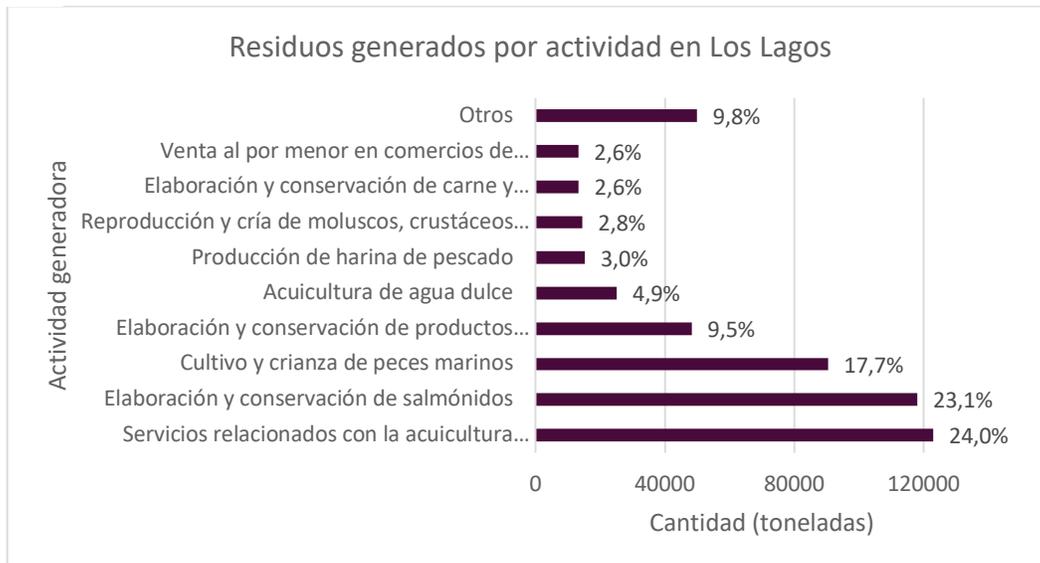


Figura 2-5: Residuos generados por actividad en la Región de Los Lagos.

Fuente: Elaboración propia

La concentración principal de residuos no valorizados de la región se da en las comunas de Puerto Montt, Osorno y Calbuco. Existe, también, una concentración secundaria en las comunas de Puerto Varas, Llanquihue y Dalcahue. Las zonas de disposición se distribuyen a lo largo de toda la región, sin embargo, la mayor cantidad de residuos se disponen en las comunas de Puerto Montt, Osorno y Calbuco (Figura 2-5). Los colores en las barras del mapa representan los distintos tipos de disposición que existen en la región. Un 43% de los residuos no valorizados se dispone en vertederos, un 29% en monorellenos (que corresponden a sitios de disposición de lodos) y un 27% en rellenos sanitarios. Esto considerando un total de casi 135 mil toneladas de residuos.

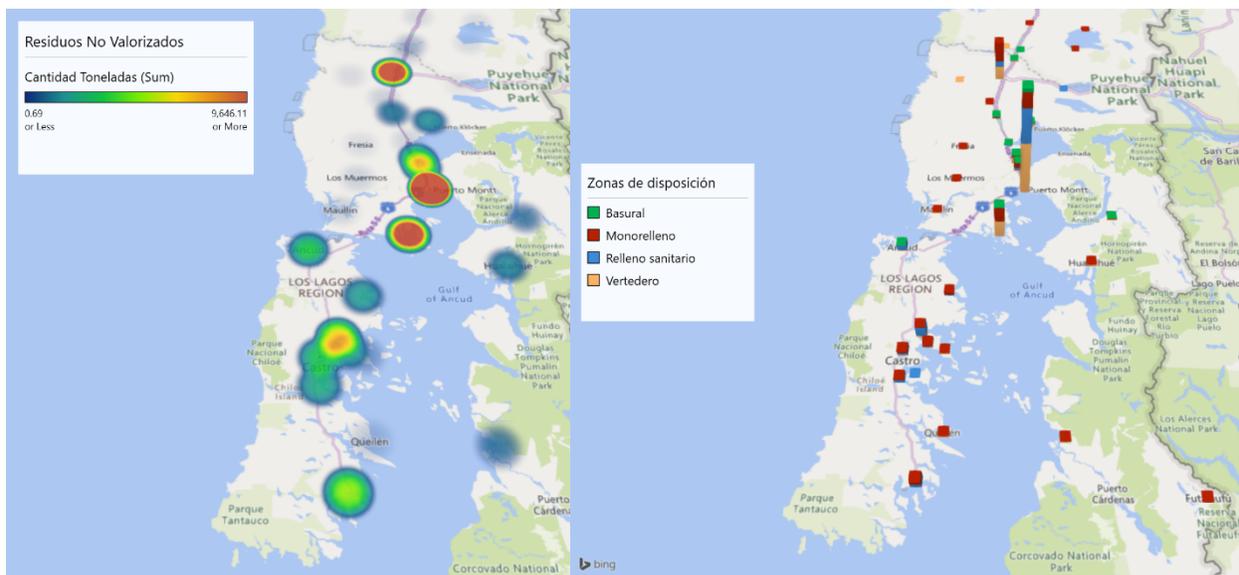


Figura 2-6: Izquierda: Cantidad de residuos no valorizados dispuestos en la Región de Los Lagos. Derecha: Zonas de disposición de residuos en la Región de Los Lagos.

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con esta información, el desarrollo de entrevistas con los principales actores del territorio (Tabla 2-7) y los APLs revisados (Consortio Lechero, Industria Salmonera), se identificó que los lodos industriales y restos de tejidos de animales tienen gran potencial de valorización, ya que se generan alrededor de 49.467 TPA (Tabla 2-8), según el RETC (2020). Esto corresponde a un 37% de los residuos que se consideraron con potencial de valorización. Con respecto al porcentaje restante, no fue posible identificar los tipos de residuos en particular, debido a que algunas categorías del RETC no permiten hacer una diferenciación clara y figuran mezclas de residuos orgánicos e inorgánicos de diversas composiciones.

Tabla 2-6: Entrevistas realizadas a los principales actores de la Región de Los Lagos.

Empresa/ Institución/ Programa	Representante
SEREMI Medio Ambiente	Bárbara Herrera - Catalina Rivera
Intesal	Ximena Rojas - Esteban Ramírez
CChc Osorno	María Francisca Sanz - Andrés Angulo Nicolas Salvo - Paola Tuchia Carolina Suber
CChc Puerto Montt	Joscelyn Miranda - Wilma Muñoz
Comberplast	Michel Compagnon
Ecoprial	Raul Albretch
Consortio Lechero	Natalie Jones
PER Mitilicultura	Javier Aros
Cal Austral	James Muspratt - Jördis Winniewski
Cal Agro	Sebastián Santander
Wenco	Jean Recule

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2-7: Residuos orgánicos de interés en la Región de Los Lagos.

Actividad generadora	Residuos no valorizados (TPA)
Elaboración y conservación de salmónidos	18.906
Acuicultura marina	15.835
Elaboración y conservación de carne	7.840
Acuicultura de agua dulce	6.159
Elaboración de productos lácteos	727
Total	49.467

Fuente: Elaboración propia a partir de RETC (2020).

En cuanto a los residuos inorgánicos generados en la Región, se identificó que los residuos plásticos provenientes de la acuicultura y mitilicultura, como boyas, presentan un potencial de valorización interesante según la información levantada con representantes de Comberplast, SEREMI de Medio Ambiente y el Programa Estratégico Regional de Mitilicultura. Según la conversación sostenida con Wenco, se estima que se generan anualmente más de 6.000 toneladas de boyas, las cuales se acopian indefinidamente en terrenos aledaños a los productores o se envían a disposición final, según lo obtenido en entrevistas con actores del rubro. De esas boyas, se asume que sería posible recuperar y transportar solo un 20%, dado que la logística de recolección y pretratamiento se torna compleja por el alto volumen, por lo que se estima que existen 1.200 TPA de boyas potencialmente valorizables. Por otro lado, existe un porcentaje de residuos como mangueras de alimentación de acuicultura y otros provenientes del mismo rubro que se reciclan actualmente, pero se desconoce el valor.

3. Diagnóstico normativo y regulatorio

En esta sección se realiza un diagnóstico normativo y regulatorio mediante la identificación de diferentes leyes, decretos, resoluciones, normas técnicas e instrumentos de planificación territorial que podrían ser aplicables a la cartera de proyectos desarrollada debido principalmente al tipo de residuo a valorizar, tipo de tratamiento, o la ubicación geográfica en la cual se podría emplazar.

La evaluación de estos instrumentos normativos y regulatorios permite identificar las posibles restricciones existentes al momento de desarrollar este tipo de proyectos de valorización de residuos industriales no peligrosos.

3.1 Marco normativo y regulatorio.

De acuerdo con la normativa existente en Chile, los residuos pueden ser clasificados de diferentes maneras; por su origen, naturaleza o procedencia, por riesgo, entre otros.

Por su origen, se pueden clasificar en residuos sólidos municipales, los que se conforman de residuos sólidos domiciliarios y residuos similares a los anteriores generados en el sector servicios y pequeñas industrias, mientras que los residuos industriales, son residuos resultantes de los procesos de fabricación, transformación, utilización, consumo, limpieza o mantenimiento, generados por la actividad industrial. Son aquellos residuos sólidos o líquidos, o combinaciones de éstos, provenientes de los procesos industriales y que por sus características físicas, químicas o microbiológicas no puedan asimilarse a los residuos domésticos.

De acuerdo al Artículo 3 del D.S. N° 40/2012 RSEIA del MMA, los proyectos de valorización de residuos industriales no peligrosos son proyectos susceptibles de causar impacto ambiental, entrando dentro de la categoría de “proyectos de saneamiento ambiental”, de esta categoría forman parte proyectos como sistemas de alcantarillado y agua potable, plantas de tratamiento de aguas o de residuos sólidos de origen domiciliario, rellenos sanitarios, emisarios submarinos, sistemas de tratamiento y disposición de residuos industriales líquidos o sólidos.

Específicamente, los proyectos de valorización de residuos industriales no peligrosos formarían parte de las siguientes categorías:

- o.7. Sistemas de tratamiento y/o disposición de residuos industriales líquidos
- o.8. Sistemas de tratamiento, disposición y/o eliminación de residuos industriales sólidos

En la siguiente tabla se puede visualizar el marco regulatorio en el ámbito ambiental y sanitario respecto a la implementación de este tipo de proyectos.

Tabla 3-1: Marco regulatorio general.

Regulación	Nombre	Descripción y comentarios
<u>Ley 19300 de 1994</u>	Sobre Bases Generales del Medio Ambiente	Determina la obligación de los proyectos comprendidos en el Artículo 10 de realizar una Declaración o Estudio de Impacto Ambiental, según correspondan. Estos son documentos que proporcionan antecedentes fundados para la predicción, identificación e interpretación de impactos ambientales, entre otros elementos.
<u>Ley 20417 de 2010</u>	Crea el Servicio de Evaluación Ambiental y Superintendencia del Medio Ambiente	El Servicio de Evaluación Ambiental (SEA) es el órgano encargado de administrar el Sistema de Evaluación Ambiental (SEIA), instrumento de gestión ambiental preventivo que permite determinar que un proyecto cumpla con la legislación ambientales y se hace cargo de potenciales impactos ambientales significativos.

Regulación	Nombre	Descripción y comentarios
<u>D.S. N°40 de 2013</u>	Aprueba Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental	Establece las disposiciones por las cuales se regirá SEIA. En particular, se establece la obligación de someterse al SEIA a los proyectos de tratamiento de RILES provenientes de terceros, detallados por la letra sección "o.7.3" del Artículo 3. También existe esta obligación para los proyectos de tratamiento de residuos industriales sólidos con una capacidad igual o superior a 30 t/día, especificado en la sección "o.8". Se excluyen los proyectos que no contemplen reacciones químicas ni biológicas en sus procesos.
<u>DFL N° 725 de 1967</u>	Código Sanitario	Establece la obligación de contar con la aprobación del Servicio Nacional de Salud para la construcción, reparación, modificación y ampliación de cualquier planta de tratamiento de basuras y desperdicios
<u>D.S. N°1 de 2013</u>	Aprueba Reglamento del Registro de Emisiones y Transferencias de Contaminantes, RETC	El RETC es un catálogo o base de datos, accesible al público, que contiene información ambiental, de ámbito nacional o regional, de sustancias químicas potencialmente peligrosas o contaminantes emitidas a la atmósfera, al agua y al suelo y transferidas fuera del establecimiento para su tratamiento o eliminación. Los establecimientos que generen anualmente más de 12 toneladas de residuos no sometidos a reglamentos específicos estarán obligados a declarar al 30 de marzo de cada año sus residuos generados el año anterior, a través del Sistema de Ventanilla Única.
<u>Resolución 5081 de 1993</u>	Establece el Sistema de Declaración y Seguimiento de Desechos Sólidos Industriales	Debe ser declarado todo residuo sólido de origen industrial que no vaya a ser reutilizado, recuperado o reciclado en el mismo establecimiento industrial
<u>Ley N° 20920 de 2016</u>	Establece Marco para la Gestión de Residuos, la Responsabilidad Extendida del Productor y Fomento al Reciclaje.	Tiene por objetivo incorporar la valorización de los residuos como un elemento primordial en la gestión de los residuos sólidos e introducir en la regulación existente en la materia, un instrumento económico que busca generar mecanismos que permitan aumentar los niveles de reciclaje de los residuos que actualmente se disponen en rellenos sanitarios o son depositados en vertederos ilegales. Establece que el fabricante o productor deberá hacerse cargo de los productos prioritarios, una vez que acaben su vida útil, debiendo cumplir metas de reciclaje establecidas por el MMA. Los productos prioritarios corresponden a aceites lubricantes, aparatos eléctricos y electrónicos, baterías, envases y embalajes, neumáticos, pilas, diarios, periódicos y revistas.
<u>Resolución N°144 de 2020</u>	Aprueba Reglamento sobre Condiciones Sanitarias y Ambientales básicas en los Lugares de Trabajo	En particular el PARRAFO III "De la Disposición de Residuos Industriales Líquidos y Sólidos" impide vaciar residuos peligrosos en sistemas de alcantarillado. Exige la autorización sanitaria para la acumulación, tratamiento y disposición final de cualquier residuo industrial.

Fuente: Elaboración propia

3.1.1 Acuerdos de producción Limpia

Un Acuerdo de Producción Limpia (APL) corresponde a un convenio entre un sector empresarial y organismos públicos competentes en el tema, cuyo objetivo es aplicar la producción limpia a través de metas y acciones específicas (Agencia de Sustentabilidad y Cambio Climático, s.f.). Estos instrumentos normativos se caracterizan por estar suscritos por una asociación empresarial representativa del sector y por cada empresa individualmente, así como para cada institución pública competente en las materias comprometidas en el convenio, donde se establece un plazo determinado para cumplir las metas y acciones.

Los APL tienen como objetivo ser una herramienta de gestión que permita mejorar las condiciones relacionadas con el ambiente, buscando generar sinergias y economías a escala en el logro de los objetivos definidos.

En la siguiente tabla se presenta la normativa que define la formulación y aplicación de los APL.

Tabla 3-2: Normativa sobre Acuerdos de Producción Limpia.

Normativa	Nombre	Descripción y comentarios
<u>NCh2796-Of2003</u>	Vocabulario	Se define el Acuerdo de Producción Limpia como un convenio entre un sector empresarial o empresa(s) y uno o más organismos públicos, con el objetivo de aplicar la Producción Limpia a través de metas y acciones específicas. La Producción Limpia (PL) es una estrategia de gestión ambiental preventiva con el objeto de incrementar la eficiencia, la productividad, reducir los riesgos y minimizar los impactos para el ser humano y el medioambiente.
<u>NCh2797-Of2009</u>	Especificaciones	Establece los Principios, Objetivos, Etapas de desarrollo y Contenido del documento APL.
<u>NCh2807-Of2009</u>	Diagnóstico, seguimiento y control, evaluación final y certificación de cumplimiento	Establece los procedimientos para realizar el diagnóstico de una instalación, previo a la implementación del APL, y proporciona las directrices y procesos para lograr la evaluación de cumplimiento de metas y acciones establecidas en dicho APL.
<u>NCh2825-Of2009</u>	Requisitos para los auditores y procedimiento de la auditoría de evaluación de cumplimiento.	Expone los aspectos mínimos que deben tener los auditores, quienes corroborarán el cumplimiento de las metas y objetivos determinados por el respectivo APL.

Fuente: Elaboración propia

3.1.2 Relativos a manejo de lodos y desechos específicos

Dentro de los residuos industriales no peligrosos, una fracción importante corresponde a residuos industriales líquidos (RILes). Este tipo de residuos, debido a su condición física, requiere de diferentes tratamientos de disposición final o valorización, es por ello que existen instrumentos regulatorios específicos para el manejo de éstos. A continuación, se presentan los Reglamentos correspondientes.

Tabla 3-3: Reglamento sobre manejo de lodos y desechos específicos.

Normativa	Nombre	Descripción y comentarios
<u>D.S.N°4 de 2009</u>	Reglamento para el Manejo de Lodos Generados en Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas	Se establece una clasificación sanitaria para los lodos provenientes de plantas de tratamiento de aguas servidas, junto con exigencias para su manejo y restricciones, requisitos y condiciones técnicas para su aplicación en el suelo. Se explicitan las condiciones para el tratamiento vía digestión anaeróbica y compostaje.
<u>D.S. N°3 de 2012</u>	Reglamento para el Manejo de Lodos provenientes de Plantas de Tratamiento de Efluentes de la Industria Procesadora de Frutas y Hortalizas	Se establecen las exigencias sanitarias mínimas para el manejo, restricciones, requisitos y condiciones técnicas, para la aplicación de lodos en determinados suelos. Se establece su diferenciación de los lodos de tratamiento de aguas servidas con el objetivo de promover su aplicación en el suelo, acorde a la economía circular. Establece que su transporte no implica un riesgo a la salud.
<u>D.S. N°64 de 2021</u>	Reglamento que Establece Condiciones sobre Tratamiento y Disposición	Estas actividades incluyen centros de cultivo, plantas de proceso, centros de acopio, de faenamiento y de investigación, y demás instalaciones destinadas al proceso productivo de la acuicultura. Define los residuos, relativos a esta actividad productiva, que clasifican como orgánicos e

Normativa	Nombre	Descripción y comentarios
	Final de Desechos provenientes de Actividades de Acuicultura	inorgánicos no peligrosos, para los cuales se establecen exigencias específicas.

Fuente: Elaboración propia

3.1.3 Normas chilenas relacionadas con el manejo de residuos industriales no peligrosos

Una norma técnica es un documento que establece, por consenso, y con la aprobación de un organismo reconocido, las condiciones mínimas que debe reunir un producto, proceso o servicio, para que sirva al uso al que está destinado. Las normas son reglas y criterios no obligatorios (excepto algunas relacionadas con temas de seguridad), ya que son adoptadas voluntariamente por las partes interesadas. A continuación, se presenta un listado de las normas aplicables en la implementación de proyectos de valorización de residuos industriales no peligrosos en Chile.

Tabla 3-4: Normas chilenas relacionadas con el manejo de residuos industriales no peligrosos

Norma Chilena del Instituto Nacional de Normalización	Nombre	Descripción y comentarios
NCh 3382: 2016	Gestión de residuos – Plantas de compostaje – Consideraciones para el diseño y operación	Esta norma detalla los requisitos de diseño y operación que deben cumplir las plantas de compostaje.
NCh 2880: 2015	Compost – Requisitos de Calidad y Clasificación.	Esta norma clasifica el compost en diferentes clases y establece sus requisitos de calidad,
NCh 3381: 2016	Gestión de Residuos – Plantas de Digestión anaeróbica – Consideraciones para el diseño y operación	Esta norma establece consideraciones para el diseño y operación de plantas de digestión anaeróbica, excluyendo las materias de seguridad asociada. Establece además una clasificación para las plantas de digestión anaeróbica de acuerdo con el tipo de materia prima procesada en la planta.
NCh 3375: 2015	Digestato – Requisitos de calidad	Esta norma establece los requisitos mínimos para asegurar la calidad del digestato de modo que su uso no genere riesgos a la salud y al medio ambiente.
NCh 3322:2013	Colores de Contenedores para Identificar Distintas Fracciones de Residuos.	Esta norma establece los colores aplicados para identificar fracciones de residuos por medio del sistema de identificación de colores RAL, el cual define un color mediante un código numérico.

Fuente: Elaboración propia

Una vez descritas las normas y reglamentos relacionadas a los proyectos de valorización de residuos, se recalca que será necesario, en una etapa posterior a este estudio, evaluar la aplicabilidad a cada proyecto particular, según sus características técnicas de diseño e impactos.

3.2 Instrumentos de planificación territorial de las zonas de interés

Los instrumentos de planificación territorial (IPT) son aquellos por los cuales se llevará a cabo las políticas de aprovechamiento y protección del uso del suelo del territorio nacional, ya sea urbano o rural. El objetivo de la planificación territorial es el desarrollo sostenible para los habitantes de todo el territorio en cuestión. Mejora la calidad de vida de los ciudadanos, facilita el acceso a las diferentes zonas del espacio y gestiona responsablemente los recursos naturales para evitar un consumo

excesivo. Bajo ese contexto, para el diseño de proyectos es necesario tener en consideración estos instrumentos, los cuales se comentan a continuación.

La principal normativa con respecto a la planificación territorial es la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones, la cual regula el procedimiento administrativo, de planificación urbana, de urbanización, de construcción, y los estándares técnicos de diseño y de construcción exigibles en los dos últimos. En esta ordenanza se menciona que los instrumentos de planificación territorial son los siguientes:

- Plan Regional de Desarrollo Urbano.
- Plan Regulador Intercomunal o Metropolitano.
- Plan Regulador Comunal con sus planos seccionales que lo detallen.
- Plan Seccional.
- Límite Urbano.

Además, esta ordenanza define los usos de suelo, que corresponden al conjunto genérico de actividades que el Instrumento de Planificación Territorial admite o restringe en un área predial, para autorizar los destinos de las construcciones o instalaciones. En esa línea, la normativa establece las siguientes clasificaciones de uso de suelo:

- Residencial
- Equipamiento
- Actividades Productivas
- Infraestructura
- Espacio Público
- Área Verde

De acuerdo con esta norma, el tipo uso de suelo para instalaciones sanitarias, entre ellas plantas de tratamiento de aguas servidas y estaciones de transferencia de residuos, entre otros, corresponde al de infraestructura. Sin embargo, se recomienda evaluar en detalle este aspecto una vez definido el terreno en donde se ubicará el proyecto.

Dentro de los límites urbanos, es el Plan Regulador Comunal (PRC) el que debiera establecer a qué tipo de uso de suelo corresponden los territorios en cuestión, mientras que fuera de esos límites, en las zonas rurales, será el Plan Regulador Intercomunal (PRI) o Metropolitano el que rija esos aspectos.

En las zonas de estudio, la mayoría de las comunas cuentan con un PRC. En particular, en la región de Maule, un 60% de las comunas cuenta con un PRC, mientras que en Valparaíso y Los Lagos este valor corresponde a 95% y 63% respectivamente (Ministerio de Vivienda y Urbanismo, 2021). Sin embargo, la regulación de los usos de suelo para las zonas rurales es muy escasa en estas regiones, con un porcentaje de comunas con PRI de 13%, 26% y 0% para Maule, Valparaíso y Los Lagos respectivamente (Ministerio de Vivienda y Urbanismo, 2021). En el caso del Valle de Casablanca, se cuenta con PRCs para las zonas con mayores concentraciones poblacionales, dentro de los límites urbanos, pero se cuenta con un PRI.

Los proyectos de gestión de residuos suelen ubicarse fuera de las zonas urbanas, y para eso el Artículo 55 de la Ley General de Urbanismo y Construcciones establece que las construcciones industriales, de infraestructura y equipamiento, fuera de los límites urbanos, necesitarán contar con la aprobación de la Dirección de Obras Municipales, la Secretaría Regional del Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU), y del Servicio Agrícola para llevarse a cabo. Específicamente, el proyecto deberá tener aprobado un Informe de Factibilidad para Construcciones ajenas a la agricultura en área rural (IFC), el

cual considera criterios técnicos definidos por el SAG con respecto al terreno, criterios socioeconómicos y usos de suelo regulados por el IPT correspondiente, si es que existe en la zona evaluada.

Para la aprobación del IFC se considerará la alineación del proyecto con los ejes estratégicos de desarrollo regional. Los proyectos de valorización de residuos aplican el concepto de la economía circular, que es concordante con la Estrategia Regional de Desarrollo (ERD) para el Maule 2022-2042 (Gobierno Regional del Maule, 2022), documento en desarrollo que considerará la transición ecológica y los Objetivos de Desarrollo Sostenible como pilares fundamentales. Estos proyectos también se alinean con la ERD de Los Lagos, la cual establece metas de economía circular y aumento de residuos valorizados (Gobierno Regional de Los Lagos, 2021). La ERD de Valparaíso está en proceso de elaboración, con sus pilares estratégicos aún por definir, sin embargo, en la ERD hasta el 2020 ya se realizaba la necesidad de una correcta gestión de los residuos y se promovía la sustentabilidad ambiental (Gobierno Regional de Valparaíso, 2012), con lo que existen antecedentes de que los proyectos de valorización de residuos estarían en línea con las metas de dicha región.

4. Identificación de condiciones habilitantes para el desarrollo de los proyectos

4.1 Marco regulatorio

En Chile se ha desarrollado un marco regulatorio del cual se podrían beneficiar proyectos como los seleccionados para la implementación de acciones de valorización. El mejor ejemplo es la Ley de Responsabilidad Extendida del Productor (Ley REP), la cual promueve la disminución en la generación de residuos y fomento de la valorización de estos. La ley responsabiliza a los productores e importadores a financiar la gestión de algunos de los residuos generados a partir de la comercialización de productos en el mercado nacional, sean estos importados o de fabricación nacional.

Los productos abordados y priorizados por la Ley REP debido a su consumo masivo, tamaño o volumen, peligrosidad (3 de ellos), factibilidad de valorizar y experiencia internacional son:

- Aparatos eléctricos y electrónicos
- Pilas
- Envases y embalajes
- Neumáticos
- Baterías
- Aceites y lubricantes

Complementario a la Ley REP, existe la figura de los Acuerdos de Producción Limpia (APL) que establecen convenios entre un sector empresarial, empresas y/o organismos públicos, cuyo objetivo es aplicar iniciativas de producción limpia a través de metas y acciones específicas.

En este contexto, la Agencia de Sustentabilidad y Cambio Climático (ASCC) creó el Fondo de Promoción de Producción Limpia (Fondo PL) con el fin apoyar a las empresas, a través de sus organizaciones, en la implementación de APLs. A este instrumento pueden postular Asociaciones Gremiales, Consorcios de empresas, Corporaciones de Derecho Público o Privado, Fundaciones, Organizaciones Sindicales y otras instituciones con personalidad jurídica que tienen por objetivo el desarrollo de un sector o subsector económico.

En definitiva, estos son instrumentos que ayudarán a generar mecanismos asociativos para diversas industrias.

4.2 Marco político e institucional

Para el fomento de la valorización de residuos orgánicos, el 2021 se generó la Estrategia Nacional de Residuos Orgánicos (ENRO), la cual busca establecer metas y objetivos para la reducción y valorización de residuos orgánicos en Chile. Esta estrategia se fija metas para el 2030 y el 2040 para generar iniciativas de valorización a nivel comunitario, municipal e industrial. La estrategia busca valorizar el 33% de los residuos orgánicos a nivel municipal al 2030, y el 66% de los residuos orgánicos generados a nivel municipal al 2040, entre algunos de sus objetivos.



Figura 4-1: Infografía de Estrategia Nacional de Residuos Orgánicos (ENRO).

Fuente: Ministerio del Medio Ambiente

Por otro lado, existe el proyecto de Ley de Residuos Orgánicos. El proyecto de Ley contempla instrumentos de regulación directa que, por medio de instrumentos económicos, se desincentive la disposición final de residuos orgánicos, instrumentos financieros para el desarrollo de proyectos (lo que incluye una reforma a la tarifa de aseo domiciliaria), e instrumentos de planificación y gobernanza para establecer planes de manejo de residuos orgánicos.

Hoy en día el proyecto de Ley se encuentra en una etapa muy temprana como para establecer qué sinergias podrían generarse para la creación de nuevos proyectos de valorización de residuos, pero se recomienda un seguimiento constante al desarrollo del proyecto de Ley con tal de generar un ambiente habilitante para proyectos de valorización que contemple mecanismos de financiamiento y señales de mercado para la instalación de proyectos en zonas estratégicas. Todas estas señales de política pública apuntan a que para el fin de esta década pasemos de menos de un 1% de valorización de orgánicos a un 30%.

4.3 Marco financiero

Hoy en día existe una variedad de instrumentos de financiamiento climático (algunos de ellos con características concesionales²) para el desarrollo de iniciativas bajas en carbono. El desafío para proyectos de manejo de residuos será reconocer cómo incorporar estos instrumentos con tal de cubrir los riesgos endógenos del proyecto, y así permitir la participación de capital privado para el desarrollo de estas iniciativas.

² Los instrumentos concesionales son aquellos que se extienden en términos más convenientes que los que se ofrecen en el mercado y que pueden venir de actores públicos como privados (filantrópicos). Ejemplos de esto son préstamos a tasas más bajas que el mercado.

Lo anterior obedece a la lógica de la mínima concesionalidad, un concepto fundamental cuando hablamos de financiamiento mixto³, y que se basa en la participación de actores privados en los tramos de financiamiento en los que sí se sentirían cómodos para participar. Para lo anterior se deberá caracterizar el proyecto según su etapa de desarrollo, y los riesgos endógenos del proyecto con tal de identificar qué opciones de financiamiento existen, y qué instrumento se adecúa mejor para la materialización del proyecto.

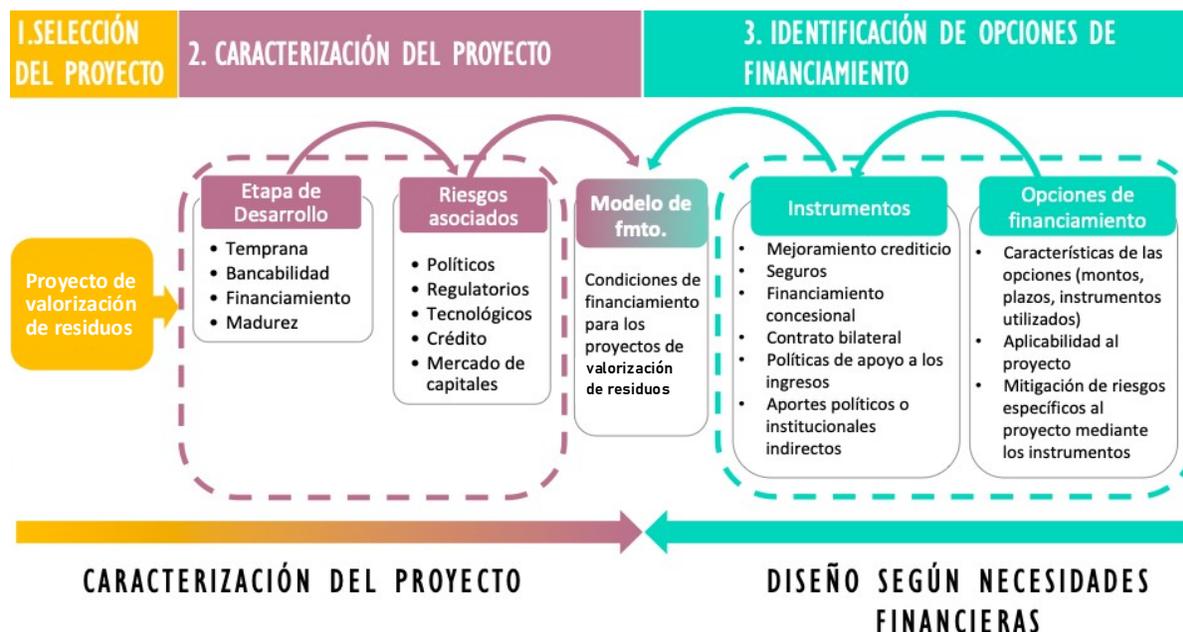


Figura 4-2: Procedimiento para la generación de estructuras de financiamiento mixto para proyectos de valorización de residuos.

Fuente: Elaboración propia

En esta lógica, un proyecto en una etapa temprana de desarrollo necesitará de instrumentos concesionales que permitan al proyecto ser bancable, con tal de permitir la participación de financiamiento privado en el proyecto. Luego de esto el proyecto ya se encontraría en una etapa de financiamiento, que luego al demostrar la viabilidad del modelo de negocio y el rendimiento del proyecto, podría pasar a una etapa de madurez en donde financiamiento institucional permita el refinanciamiento del proyecto.

Dentro de los desafíos para Chile en catalizar financiamiento concesional internacional, se encuentra que Chile está categorizado como país non-ODA⁴, por lo que recibir financiamiento en condiciones favorables es más difícil. En este sentido, existen fondos que restringen el financiamiento dirigido solo a proyectos ubicados en países habilitados para recibir ODA.

Por otro lado, el financiamiento para el proyecto también se diferenciará dependiendo si es concesional o no, y de la etapa de desarrollo del proyecto, el cual podrían ser recursos para un periodo de pre-inversión, inversión o madurez (re-financiamiento).

³ Financiamiento Mixto es el uso complementario de donaciones, instrumentos altamente concesionales y financiamiento reembolsable de fuentes públicas y privadas con el propósito de proporcionar mayor viabilidad y sostenibilidad financiera a proyectos, con impacto en el desarrollo sostenible (Banco de Desarrollo de América Latina, 2021).

⁴ La OECD define una nómina de países en vías de desarrollo sujetos a recibir ayuda gubernamental para el desarrollo económico conocida como Official development assistance (ODA). Chile no se encuentra actualmente en esta lista.

5. Análisis de tecnologías para los tipos de residuos priorizados

5.1 Identificación de tecnologías existentes para el tratamiento de los residuos de interés

A continuación, se describirán las principales tecnologías identificadas para el tratamiento de los residuos de interés.

5.1.1 Compostaje

El compostaje es un proceso biológico aeróbico en que los residuos orgánicos, mediante la acción de microorganismos, son transformados en compost. El compost es un abono natural que puede ser utilizado como fertilizante para mejorar las propiedades de los suelos y entregar nutrientes a las plantas (Reciclo Orgánicos).

En cuanto al proceso de compostaje (Figura 5-1), este se puede dividir en dos grandes etapas, la etapa activa y la etapa de curado. En la primera etapa ocurre la descomposición de la mayor parte de los residuos orgánicos, mientras que en la segunda la actividad microbiana disminuye con lo que se reduce la temperatura (Reciclo Orgánicos). Es importante señalar que el éxito del proceso de compostaje dependerá de que las condiciones fisicoquímicas como la presencia de oxígeno, la temperatura, la humedad, la relación carbono/nitrógeno y el pH, se encuentren dentro de rangos aceptables según el momento que se encuentren⁵.

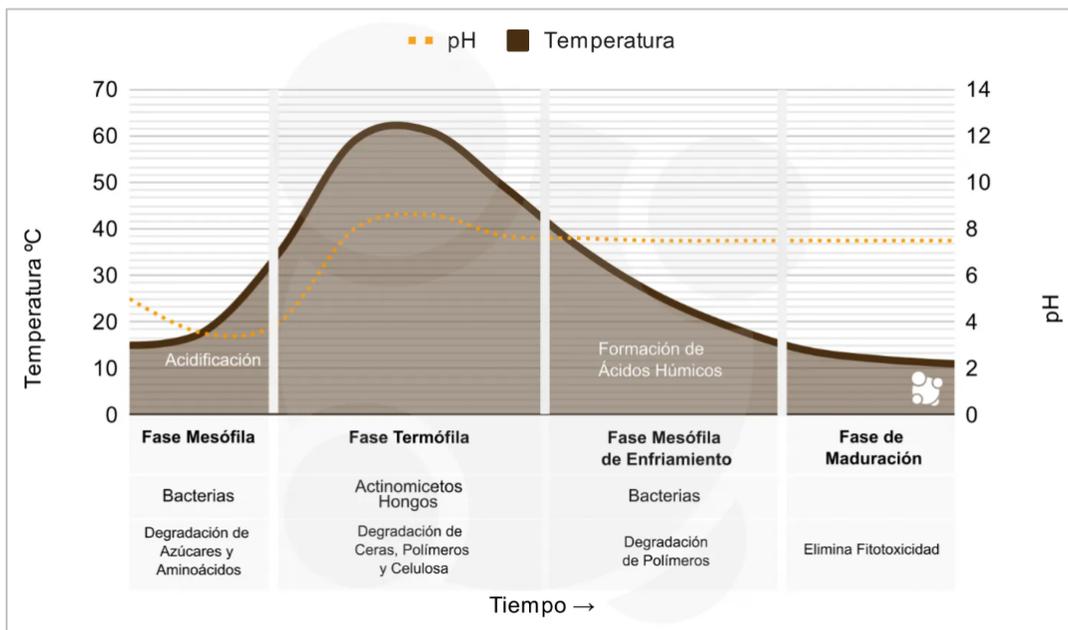


Figura 5-1: Proceso de compostaje.

Fuente: (csr Laboratorio, s.f.)

El compostaje se puede realizar de diferentes formas y escalas lo que dependerá de la cantidad de residuos a tratar y los recursos disponibles para su tratamiento (espacio, infraestructura, entre otros).

⁵ Dado que el enfoque de este estudio no es detallar los parámetros óptimos del proceso de compostaje se recomienda consultar bibliografía relacionada. A modo de ejemplo, se propone el Manual de Compostaje desarrollado por el Programa Reciclo Orgánicos, 2021.

Debido al tamaño de los proyectos de interés, para este estudio se describen las maneras más comunes de realizar compostaje a gran escala:

- **Pilas estáticas**

Es el método de compostaje más simple y económico de todos, consiste en la formación de filas largas y no muy altas de residuos orgánicos llamadas pilas. Para este proceso de compostaje es importante que los residuos ricos en carbono y los residuos ricos en nitrógeno sean bien mezclados con la finalidad de que la mezcla sea homogénea y disminuya la probabilidad de producirse áreas con condiciones anaeróbicas (sin oxígeno).

Para reforzar esto, se sugiere que se traten residuos orgánicos con una alta relación C:N (40:1), como por ejemplo material estructurante⁶ a la pila, que permite la aireación interna de la pila. A pesar de lo anterior, es probable que el equilibrio de la pila durante el proceso de compostaje se vea afectado, siendo un indicador la generación de olores (FJG Consulting, 2015).

En general, este proceso toma de 2 a 3 años dependiendo de cuanta mezcla se realizó en el compostaje.

- **Pilas con volteo mecánico**

Es el método más común en el compostaje y consiste en la formación de pilas de residuos orgánicos, las que se voltean periódicamente dependiendo la etapa en la que se encuentre (la etapa de compostaje activo requiere mayor cantidad de volteos que la etapa de maduración) (FJG Consulting, 2015). En este caso, el volteo permite la aireación de la pila, lo que promueve que tanto el calor como la humedad se reparta de forma más homogénea al interior de la pila.

En este sistema, la etapa de compostaje activo puede tomar entre 3 a 12 meses, donde el tiempo mínimo es en climas calurosos y el máximo para condiciones más frías. En esta etapa se recomienda voltear 3 veces por semana la pila para evitar que se generen procesos anaeróbicos en la pila (Ministry of Alberta Environment and Parks, 2018).

- **Pilas con aireación pasiva**

Este sistema consiste en la formación de pilas a las cuales se les introducen distintos tubos que se encuentran perforados con la finalidad de que faciliten la circulación del aire al interior de la pila. Las pilas deben ser de baja altura para que el sistema de aireación pasiva funcione. La duración del proceso de compostaje es un poco menor al compostaje realizado en pilas estáticas, siendo estimado entre 1 o 2 años (Ministry of Alberta Environment and Parks, 2018).

- **Pilas con aireación forzada**

Las pilas con aireación forzada es una tecnología que, a diferencia de las anteriores, entrega aireación mediante un sistema de recolección y distribución de aire que circula mediante tuberías y ventiladores al interior de la pila (FJG Consulting, 2015) En general, se conocen tres tipos de aireación forzada que son la aireación positiva, la aireación negativa y la aireación bidireccional, las cuales dependen de si se entrega aire, se extrae aire o si se realizan ambas acciones (Ministry of Alberta Environment and Parks, 2018). Comúnmente, este tipo de tecnología se complementa con el uso de una cubierta o membrana para hacer más eficiente la entrega o extracción del aire a la pila.

⁶ Se entiende como material estructurante a los residuos vegetales secos, de preferencia leñosos, triturados o partidos.

Independiente del método de compostaje utilizado, se recomienda controlar los niveles de oxígeno, humedad, aireación y temperatura de la pila con el objetivo de evitar que se produzca un desequilibrio en el proceso de compostaje y se generen efectos negativos para la comunidad y el medio ambiente.

5.1.2 Digestión anaeróbica

La digestión anaeróbica, o biodigestión, es un proceso a través del cual microorganismos descomponen materia orgánica en ausencia de oxígeno. Los productos finales de la digestión anaeróbica son el biogás y el digestato. El primero es una mezcla gaseosa compuesta por metano, dióxido de carbono y otros gases. La composición del biogás depende varios factores, entre ellos, los insumos, la temperatura, velocidad de carga orgánica y tiempo de retención hidráulico (Reciclo Orgánicos, s.f.). El segundo es un lodo estabilizado y normalmente libre de patógenos que tiene propiedades de biofertilizante, siendo posible utilizarlo como mejorador de suelos (Reciclo Orgánicos, s.f.).

Los principales tipos de residuos que pueden ser tratados mediante esta tecnología son la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos; residuos orgánicos no peligrosos de establecimientos industriales, comerciales e institucionales; residuos de alimentos; residuos agrícolas; residuos forestales; residuos de madera; cartón y papel no reciclables; residuos de hojas y jardín; biosólidos/lodos clasificados como Clase A y Clase B de plantas de tratamiento de aguas residuales; y estiércol de sistemas de gestión anaeróbicos (ClimateCheck, 2020).

Como se muestra en la Figura 5-2 las plantas industriales de digestión anaeróbica se pueden distinguir 5 etapas principales (Barrera-Cardoso et al., 2018).

- **Pretratamiento de los sustratos:** En este proceso se mejoran las condiciones de los residuos para optimizar su digestión anaeróbica. Ejemplos de estos son la remoción de impurezas de la mezcla de sustrato o la molienda de estos para disminuir el tamaño de las partes sólidas.
- **Digestión anaeróbica:** Se lleva a cabo en un recipiente sellado llamado reactor, que se puede diseñar y construir en varias formas y tamaños específicos para el sitio y la materia prima.
- **Postratamiento del digestato:** La humedad y características fisicoquímicas del digestato van a depender de las condiciones del sustrato. Dependiendo de la aplicación del digestato, en ocasiones va a ser necesario su tratamiento, por ejemplo, para deshidratarlo o separar la fracción líquida de la sólida.
- **Compresión y tratamiento del biogás:** El biogás contiene compuestos químicos que pueden causar complicaciones dependiendo el uso final, y que es necesario extraer. Para cualquier aplicación del biogás será necesario remover el sulfuro de hidrógeno y agua.
- **Generación de energía:** A partir del biogás, es posible producir electricidad y/o calor mediante motores de combustión interna, turbinas de gas o sistemas combinados de calefacción y suministro eléctrico (CHP por sus siglas en inglés).

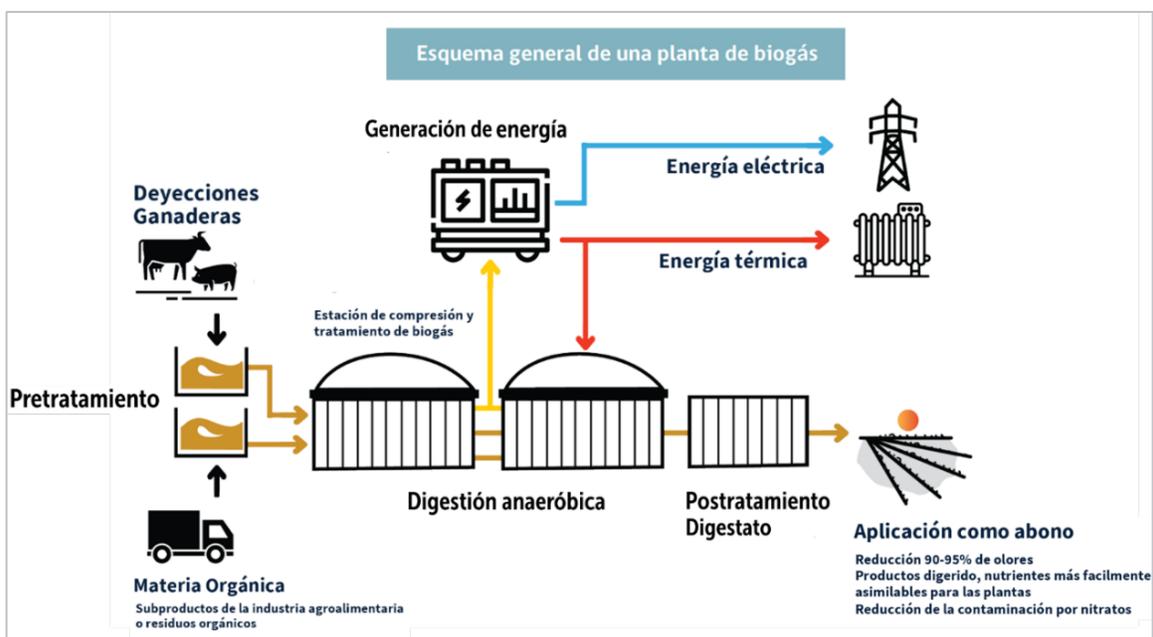


Figura 5-2: Procesos en una planta de digestión anaeróbica.

Fuente: Modificada a partir de figura de GIZ (2020)

Al momento de diseñar una planta de biodigestión, una de las principales decisiones será seleccionar el tipo de tecnología que se utilizará para los reactores. A continuación, se describen los más comunes en la actualidad.

- **Reactor de mezcla completa (CSTR)**

Son estanques circulares herméticos, contruidos de acero u hormigón, en los cuales el sustrato es mezclado a baja velocidad por agitadores. Son los más utilizados para residuos agroindustriales, en particular con bajo contenido de sólidos (Ministerio de Energía, 2011). Algunos de estos reactores funcionan con recirculación, que consiste en devolver parte de los microorganismos presentes en el efluente, y con esto se logran menores tiempos de retención hidráulica (Ministerio de energía, 2011). Para la acumulación del biogás se utilizan gasómetros, recipientes flexibles que ubicados sobre los reactores.

- **Reactor de laguna cubierta (CLBR)**

“Son lagunas o piscinas profundas impermeabilizadas y recubiertas de forma hermética con geomembrana de diferentes plásticos, y no utilizan ni calefacción ni agitación” (Ministerio de Energía, 2011). Se utilizan usualmente para el tratamiento de aguas residuales con alta concentración de materia orgánica como los provenientes de mataderos, queserías, cervecerías, etc. Tienen grandes dimensiones y tiempos de retención hidráulicos altos, por lo que no admiten un gran flujo de residuos (de Lemos Chernicharo, 2007). Además, su diseño tampoco permite la co-digestión⁷. Su ventaja es que no son complejos de instalar ni operar y no requieren muchos esfuerzos para su mantenimiento, implicando costos menores que otros reactores, sin embargo, son propensas a liberar malos olores y atraer vectores por las grandes áreas que ocupan.

⁷ Agregar al digestor más de un tipo de residuos orgánicos, de manera tal de aumentar la producción de biogás (ONUDI, 2017).

- **Reactor de flujo ascendente con manto de lodo (UASB)**

Son reactores alargados, con forma tubular, en los cuales fluye el sustrato desde el fondo del tanque y es tratado al pasar a través de un manto de lodo suspendido con microorganismos (Tilley E. U., 2018). Este tipo de reactor ha sido utilizado en el tratamiento de aguas municipales urbanas, pero su aplicación en áreas rurales aún no es común (Comisión Nacional del Agua, 2015). Una de sus desventajas es que el efluente requiere de un tratamiento adicional antes de su aplicación o disposición, debido a que la tecnología no permite un tratamiento suficiente de la materia orgánica (Barrera-et al., 2018).

- **Reactor de lodo granular expandido (EGSB)**

Funcionan de manera similar a los reactores UASB, pero logran una mayor producción de biogás al día y menores tiempos de retención hidráulicos, debido a la mayor tasa de recirculación que presentan. Dada su baja eficiencia de remoción de sólidos suspendidos, generalmente es necesario utilizar etapas post-tratamiento para el digestato obtenido (Barrera-et al., 2018).

- **Reactor tipo batch**

Consiste en un tanque simple que opera por ciclos, con 4 etapas: alimentación, reacción sedimentación y descarga (Carrasco Allendes, 2015). Los residuos entran por lotes, es decir, el reactor es alimentado con una gran cantidad de sustrato en un momento puntual y luego de un periodo de tiempo es vaciado por completo. Su ventaja es que es una tecnología sencilla de operar, con bajos costos de operación, sin embargo, existen periodos en los que no hay producción de biogás, por lo que no es compatible con proyectos de producción de energía a nivel industrial (Carrasco Allendes, 2015).

5.1.3 Tratamiento de plásticos

El tratamiento de plásticos consiste en la transformación del material plástico de desecho en productos con valor agregado. Para ello existen distintas tecnologías, entre las que destacan la reutilización del material (primaria), el reciclaje mecánico (secundario), la recuperación química (terciaria) y la recuperación de energía (cuaternaria). Estos procesos representan distintos niveles de circularidad dentro del ciclo productivo de los plásticos.

Como se muestra en la siguiente figura, la reutilización del material sirve para reintroducir el plástico utilizado a la industria sin cambiar las propiedades originales del material. El reciclaje mecánico recupera distintos tipos de plásticos y los procesa para transformarlos en un material con menor calidad que el original. La recuperación química consiste en separar las cadenas poliméricas de los plásticos de desecho para obtener monómeros o productos petroquímicos. Por último, la recuperación de energía aprovecha el potencial de combustión de los plásticos para generar energía útil.

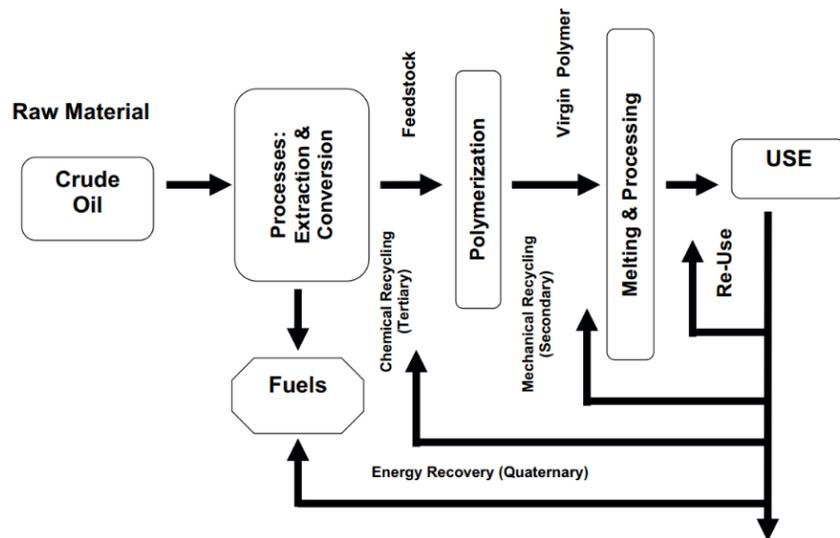


Figura 5-3: Métodos de tratamiento asociados al ciclo productivo de los plásticos.

Fuente: (Al-Salem, Lettieri, & Baeyens, 2009)

- **Reutilización del material**

Consiste en el procesamiento mecánico de plásticos de desecho para obtener materiales con propiedades similares a las de los plásticos vírgenes (dureza, resistencia, elasticidad, etc.) por medio de la reincorporación del material de desecho al proceso de transformación.

Para lograr que los productos obtenidos a partir del reciclaje primario presenten un rendimiento comparable al de productos fabricados a partir de plásticos vírgenes, el reciclaje primario requiere residuos de mejor calidad: limpios, no contaminados y de un solo tipo (Zhang F. Z., 2020).

- **Reciclaje mecánico**

Consiste en el procesamiento mecánico de plásticos de desecho para obtener productos con menores requisitos de rendimiento que la del producto generado a partir de plástico virgen (Kumar, Panda, & Singh, 2011). Esto ocurre debido a la disminución del peso molecular causada por las escisiones en la cadena principal del polímero (Zhang F. Z., 2020).

El reciclaje considera los siguientes procesos: reducción de tamaño mediante granuladores, trituradores o desmenuzadores; la segregación; la limpieza; el secado y la peletización o escamado. Luego, el plástico procesado se transforma en el producto final por medio de extrusión, soplado, rotomoldeo, inyección, moldeo por compresión, termoformado, etc.



Figura 5-4: Pasos del reciclado mecánico de plástico.

Fuente: Ecoplas (2020)

El ámbito de aplicación del reciclaje secundario se excluye algunos tipos de termoplásticos que son sensibles a la temperatura, plásticos que poseen altas viscosidades de fusión y algunos polímeros compuestos (Okan, Aydin, & Barsbay, 2019). Prácticamente solo el PE y el PET se pueden reciclar adecuadamente con esta tecnología. Otros tipos de plásticos, como el PS, el PP, y PA, representan menos del uno por ciento de los plásticos tratados mediante reciclaje secundario (MacArthur, 2017).

- **Recuperación química y energética**

La recuperación de recursos consiste en la obtención de monómeros o productos petroquímicos (como combustibles o lubricantes sintéticos) a partir de plásticos de desecho (Al-Salem, Lettieri, & Baeyens, 2009). Este proceso ocurre por medio de la termólisis, es decir, la separación de compuestos en presencia de calor. Durante la termólisis los polímeros del plástico se separan para producir monómeros y compuestos de menor peso molecular.

La termólisis se puede dar por medio de tres procesos distintos (Zhang F. Z., 2020):

- Pirólisis: separación de los polímeros del plástico en una atmósfera inerte (proceso anaeróbico) a temperaturas entre 300 y 900 °C para producir gases de combustión, petróleo líquido y carbón black o negro de humo.
- Gasificación: separación de los polímeros del plástico en presencia de pequeñas cantidades de aire, que genera H₂, CH₄ y otros hidrocarburos livianos que pueden ser usados como combustibles gaseosos.
- Hidrogenación: separación de los polímeros en presencia de H₂ para generar gasolina o kerosene.

5.2 Experiencias nacionales e internacionales de la aplicación de las tecnologías identificadas

5.2.1 Compostaje

- **Planta de compostaje Idea Corp, Chile**

A la fecha, existen diferentes emprendimientos y empresas dedicadas al compostaje en el país. A nivel domiciliario, organizaciones sin fines de lucro y empresas han trabajado en forma conjunta con

Municipalidades para implementar programas de compostaje en sus territorios y de esta forma disminuir los costos asociados a la gestión de los residuos en sus comunas.

En cuanto al compostaje a gran escala en el país, se tienen las experiencias de la Municipalidad de Santa Juana y la Municipalidad de La Pintana que cuentan con plantas de compostaje municipal en las que tratan los residuos orgánicos domiciliarios que son recolectados de forma diferenciada en sus comunas. Mientras que, para el compostaje de residuos orgánicos industriales, si bien no existe un gran número de empresas dedicadas a su valorización, se destaca Armony e IdeaCorp, ambas empresas con plantas de compostaje en la Región Metropolitana, que tratan residuos provenientes principalmente de la agroindustria mediante el cual producen y comercializan compost para todo el país.

De forma puntual, se comenta la experiencia de Idea Corp (Servicio de Evaluación Ambiental, s.f.), Catemito, cuya planta de compostaje se ubica en la comuna de San Bernardo, Región Metropolitana, y trata residuos provenientes de industrias de alimentos (frutícola, cáscaras de frutas, tallos y hojas similares), áreas verdes, mercados y ferias libres, lodos de plantas de tratamiento secundario y guanos de criaderos de aves y caballos, entre otros.

Según la información disponible en el SEIA, el proyecto presentado en el 2003 contemplaba una capacidad mínima de 4.000 toneladas al mes, lo que corresponde al tratamiento anual de 48.000 toneladas de residuos orgánicos mediante pilas con volteo mecánico.

En cuanto a su inversión, el monto declarado en el 2003 correspondió a \$200.000 USD (alrededor de \$328.000 USD en el 2022) y el espacio utilizado por el proyecto era cercano a 4,5 hectáreas.

- **Planta de compostaje Zero Corp, Chile**

La empresa Zero Corp comenzó en el año 2021 a operar la planta Crucero ubicada en la comuna de Purránque en la Región de Los Lagos. Procesa cerca de 3.600 toneladas mensuales de residuos orgánicos procedentes de industrias acuícolas, lecheras, y otras, que operan, principalmente, en la Región de los Lagos. Hay algunos residuos que vienen de la industria salmonera de Aysén y Magallanes, pero el fuerte son Los Lagos y Los Ríos. Los clientes son las acuiculturas (plantas de proceso y piscicultura), plantas de harina y aceites de salmón, plantas lecheras, la industria cárnica, mataderos y un cliente de berries (García-Huidobro, 2022).

Esta planta valoriza residuos orgánicos a través de un sistema que se llama “aire en pilas estáticas” donde se logra producir un compost de calidad que puede ser usado como una enmienda agrícola, como un material estructurante o un mejorador de suelos.

Parte fundamental de la tecnología seleccionada es la captura, en el proceso de compostaje, de los Gases de Efecto Invernadero, que en la disposición final tradicional son emanados a la atmósfera, y aquí son tomados y fundidos en el proceso sustentable de la planta Crucero (Garcés, 2021).

Zero Corp está construyendo una segunda planta que les permitirá escalar aún más el nivel de producción de compost.

- **Planta de compostaje municipal de Talca, Chile**

En el año 2020 comenzó la construcción de una planta de compostaje municipal que tratará aproximadamente 20 toneladas diarias de residuos orgánicos provenientes de la Macroferia y podas municipales. El proyecto está emplazado en el sector de Huilliborgoa, en un sitio de propiedad municipal con una superficie disponible de 1,2 hectáreas, adyacente al relleno sanitario “El Retamo”.

La planta contará con tecnología Goretex entregada por el gobierno canadiense que permitirá que la generación del compost se realice en menor tiempo, generando este insumo para su uso en áreas verdes de Talca y otros sectores productivos como pequeños agricultores de la zona. Considera una disminución de los costos de disposición recuperando residuos orgánicos vegetales, liberando con ello un 3% de capacidad en el relleno sanitario.

La planta de compostaje considera una inversión total cercana a los \$1.000 millones (CLP) que incluye la maquinaria y equipos necesarios para el procesamiento de los residuos (Silva, 2020).

- **Estudio de pre-factibilidad para proyecto de compostaje en Puerto Varas**

Con el objetivo de gestionar los residuos sólidos orgánicos de Puerto Varas de manera sostenible, el 2018 se realizó un estudio de pre-factibilidad para un proyecto de compostaje sin aireación forzada con una capacidad de tratamiento de alrededor de 8.000 ton/año con un porcentaje de residuos alimenticios aproximadamente del 63% de material de entrada. El proyecto considera un área de aproximadamente 9.000 m².

Con respecto a los aspectos económicos, la evaluación indica un CAPEX de \$1.500.000 USD que incluye obras civiles y equipos, y un OPEX de \$220.000 USD que incluye costos de personal, materiales y energía, entre otros. En cuanto a los ingresos, estos se generarían a partir de la venta de compost y electricidad que corresponde a \$220.000 USD (CCAC & CCAP, 2018).

5.2.2 Digestión anaeróbica

Al 2018, en Chile existían 74 biodigestores instalados, de los cuales 18 fueron instalados para el sector lechero y el resto para el tratamiento de RILES industriales y aguas servidas. Los biodigestores más grandes instalados en el país son de estructura rígida con gasómetro externo y agitación, mientras que para plantas más pequeñas se suelen utilizar reactores de laguna cubierta (Gobierno Regional Región de Los Ríos; INDAP, 2018).

La digestión anaeróbica de residuos industriales a gran escala no es común en Chile, pero dado el potencial de esta tecnología en el tratamiento de los residuos y la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, se está comenzando a desarrollar su potencial en el país. A continuación, se presentan casos de estudio.

- **Planta de Generación de Bioenergía Molina**

Esta planta se ubica en la localidad de Molina y trata residuos agroindustriales generados en la región del Maule, principalmente orujos y escobajos de viñas, y cuenta con una capacidad de recepción de residuos de 100 ton/día. La planta utiliza un terreno de 2 ha (Servicio de Evaluación Ambiental, s.f.).

Se utilizan dos reactores de mezcla completa con recirculación de 3.000 m³ cada uno, los cuales poseen gasómetros de doble membrana para el acopio del biogás producido. La planta incluye un módulo de cogeneración de energía eléctrica y térmica, con una potencia nominal total de 1MW (actualmente en proceso de ampliación a 2MW). Parte de la energía es utilizada para el mantenimiento de la temperatura del digestor, y lo restante queda disponible para su venta.

El monto de inversión total para este proyecto constó de \$5.000.000 USD, lo cual incluye todos los costos de inversión necesarios para la implementación del proyecto como permisos, terreno, maquinaria, el proyecto de ingeniería entre otros. En la etapa de operación los ingresos de la planta se generan a partir de la tarifa de disposición de residuos, la venta de electricidad a la red y la venta de calor a la principal productora de los residuos que reciben, la Viña San Pedro (OECD, 2022).

- **Estudio de pre-factibilidad para proyecto de biodigestión en Puerto Varas**

Con el objetivo de gestionar los residuos de Puerto Varas de manera sostenible, el 2018 se realizó un estudio de pre-factibilidad para un proyecto de digestión anaeróbica. A largo plazo, se propone la instalación de una planta de biodigestión con compostaje del digestato para el tratamiento de 40.000 TPA de residuos sólidos municipales provenientes de distintas ciudades, además de Puerto Varas (CCAC & CCAP, 2018).

En particular, el proyecto consiste en un sistema de biodigestión que recibe residuos secos (20-30% de materia seca) para el tratamiento en un reactor tipo *batch*. El diseño de la planta cuenta con recuperación de biogás y cogeneración mediante un módulo CHP con una potencia de 800 a 9000 kW. El área total considerada para el proyecto es 2,5 hectáreas.

Con respecto a los aspectos económicos, la evaluación indica un CAPEX de \$8.810.000 USD que incluye obras civiles y equipos, y un OPEX de \$881.680 USD que incluye costos de personal, materiales y energía, entre otros. En cuanto a los ingresos, estos se generan a partir de la tarifa de recepción de residuos, la venta de compost, electricidad y calor y corresponden a \$1.601.131 USD en total.

- **Planta de biodigestión de Ecoprial**

Esta planta está actualmente finalizando su construcción en Osorno y entrará en operación este año. El proyecto consiste en el tratamiento de residuos animales de la industria cárnica, lechera, pesquera y sanitaria mediante reactores CSTR. Se cobrará a las empresas una tarifa de disposición, la electricidad producida se inyectará a la red (OECD, 2022) y el digestato se entregará de manera gratuita a agricultores de la zona.

No se cuenta con información pública sobre los montos de inversión asociados a este proyecto, sin embargo, se declaró que se necesitó una gran suma de dinero para la puesta en marcha de la construcción, para la cual la empresa obtuvo un préstamo de 7 millones de USD desde el Banco Estado (Pais Lobo, 2022).

5.2.3 Reciclaje mecánico de plásticos

La industria del plástico en Chile agrupa cerca de 430 empresas entre productores y comercializadores de materia prima, transformadores, recicladores y gestores de residuos, comercializadores de maquinaria, empresas de logística y otros servicios especializados. Genera más de 27 mil empleos directos (ASIPLA, 2021).

En Chile se consumieron 952.755 toneladas de plásticos el año 2020, de las cuales se reciclaron 92.716 toneladas el mismo año. Esto equivale a una tasa de reciclaje del 9,6% del consumo. Del total de plástico consumido en Chile, un 43% se destina a Envases y Embalajes (EyE) (Cenem, 2018). El resto de las resinas se destinan a aplicaciones durables para los sectores de la minería, construcción, agricultura, pesca, etc.

Existen distintos tipos de plantas que aportan a la economía circular del plástico. Por un lado, se encuentran las empresas recicladoras, que procesa residuos plásticos de terceros, para luego valorizarlos mecánicamente, recuperando su materialidad y transformándolos en un producto de mayor valor (molido o pellet). Por otro lado, se encuentran las empresas transformadoras, que procesan la resina termoplástica (sea esta virgen y/o reciclada) y la transforman en un artículo plástico listo para su uso. A continuación, se presentan ejemplos de estos tipos de plantas en el país.

- **Planta de reciclaje de Greenplast**

Greenplast es una empresa creada por Wenco el año 2005 y que se dedica al reciclaje de plástico rígido en Chile, gracias a las 1.200 toneladas promedio que procesa cada mes.

Su planta en Lampa, región Metropolitana recibe dos de los plásticos más usados por la industria y los domicilios (polietileno (PE) y polipropileno (PP)), que luego somete al proceso de reciclaje. Este consiste en moler, lavar y extruir, para convertir el plástico en los pellets que luego servirán para dar forma a nuevos objetos. Los pellets a continuación se homogeneizan y son sometidos a controles de calidad, antes de ser despachados a cada uno de clientes.

- **Planta de reciclaje y transformación de Comberplast**

Comberplast es una empresa que se dedica al reciclaje y posterior transformación del plástico en bienes útiles que se integren a las necesidades de las personas. Operan en un terreno de 3,5 hectáreas en la comuna de San Bernardo, región Metropolitana y cuentan con 40 máquinas inyectoras y 180 trabajadores distribuidos en 4 plantas de producción.

Recuperan 400 toneladas de residuos plásticos al mes y los transforman en pallets, contenedores plásticos, cajas para medidores de electricidad, artículos del hogar y otros elementos. En particular, la iniciativa de Comberplast, Atando Cabos, recibe boyas, cabos y otros plásticos de mitilicultura y acuicultura, los cuales se procesan, mezclan con plástico virgen y convierten en diversos productos como suelos para conciertos. En 2020 invirtieron \$1.400.000 USD en maquinaria e infraestructura para transformar el centro de acopio en Puerto Montt en una planta para triturar y lavar el plástico recolectado, además de aumentar su capacidad de recepción en 5 veces.

- **Planta de reciclaje y transformación de Procesadora de Plásticos Puelche (PPP)**

Está ubicada en la comuna de Puerto Montt, región de Los Lagos, y busca generar valor agregado mediante una innovación constante, valorizando alrededor de 2.600 toneladas anuales de plásticos. Utilizan los desechos plásticos de polietileno provenientes de las mangueras para acuicultura y de los films de ensilaje de la agricultura y los transforman en productos útiles para los procesos productivos de las mismas industrias.

PPP elabora productos y presta servicios a los productores de residuos plásticos de la región siguiendo un modelo de economía circular. Dentro de los productos que se comercializan existen artículos de riego y mangueras, bebederos para animales, geomembranas y vermicomposteras.

A modo de resumen, en relación con las distintas experiencias anteriormente detalladas, destacan las siguientes por su potencial replicabilidad en Chile en función de las necesidades identificadas en cada territorio.

- Para generar el proyecto de una planta de compostaje destaca la experiencia de Catemito (Idea Corp) quienes tratan residuos provenientes, principalmente, de la agroindustria mediante el sistema de pilas con volteo mecánico, que es uno de los sistemas más sencillos y económicos disponibles.
- Para el diseño de la planta de digestión anaeróbica, la experiencia de Ecoprial con su recientemente construida planta de biodigestión, destaca por su tecnología que trata los residuos (similares en composición a los de este proyecto) mediante reactores de mezcla

completa con recirculación. Esta tecnología es de bajo costo operativo y su construcción es relativamente sencilla.

- Finalmente, para reciclaje mecánico de plásticos resalta la experiencia de la planta de reciclaje y transformación de Procesadora de Plásticos Puelche quienes mediante reciclaje mecánico valorizan distintos residuos plásticos provenientes de sectores agrícolas o de acuicultura y logran la recuperación del plástico para la reutilización de este como materia prima para las mismas industrias.

6. Análisis y desarrollo de la propuesta de la cartera de proyectos

En esta sección se presenta la cartera de proyectos propuesta para tratar los residuos de interés identificados, mediante las tecnologías especificadas y utilizando como referencia las experiencias levantadas. Para cada uno de los residuos de interés de las localidades en cuestión, se presenta cantidad y tipo de residuos a tratar, una descripción del proyecto, CAPEX y OPEX referenciales y una potencial ubicación para estos. Adicionalmente, se incluye una estimación de los empleos que cada proyecto podría generar y una estimación de la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), como indicadores de utilidad para la evaluación de la cartera.

Para determinar la información de cada proyecto se utilizaron diversas fuentes bibliográficas, las entrevistas realizadas, casos de estudio y la experiencia previa de ImplementaSur. Como se mencionó anteriormente, en los casos en los que no se contaba con la información directa sobre la cantidad de residuos de interés generados, se realizaron estimaciones con supuestos basados en bibliografía y/o las entrevistas realizadas. Mas detalles de esto se puede encontrar en el Anexo 6.

En cuanto a la ubicación propuesta para cada proyecto, se determinó tomando en cuenta variables como la distancia a los generadores (cuando la información se encontraba disponible), cercanía a ciudades importantes, vías de acceso e idealmente procurando que el tipo de uso de suelo correspondiese al “industrial”.

Para la reducción de emisiones de GEI se definen dos conceptos. El primero es el *caso base*, que corresponde al manejo actual de los residuos en cuestión. El segundo es el *caso con proyecto* que corresponde a la situación en donde los mismos residuos son tratados de una manera alternativa a través de un proyecto, en este caso, una planta de compostaje, biodigestión o reciclaje. De esta manera, la reducción de emisiones de GEI que los proyectos propuestos generarían se calcularon como las emisiones asociadas al caso base menos las emisiones asociadas al caso con proyecto. Para estos cálculos se utilizaron metodologías desarrolladas por el Mecanismo de Desarrollo Limpio, que establecen procedimientos y criterios para la cuantificación. De manera general, las principales fuentes de emisiones se relacionan con el consumo de energía, el gas generado por la descomposición de los residuos dependiendo del tratamiento y el transporte.

A continuación, se presenta la cartera seleccionada de proyectos por zona estudiada.

6.1 Valle de Casablanca, Región de Valparaíso

6.1.1 Compostaje de residuos orgánicos industriales

- **Residuos**

A partir de la información presente en el APL Vitivinícola se identificó que existe un porcentaje de residuos orgánicos de esa industria que no están siendo valorizados actualmente, por lo que existe una oportunidad de aprovechar ese potencial. De acuerdo con lo anterior, se estima que la cantidad de residuos orgánicos valorizables es de 1.316 TPA., provenientes de la industria vitivinícola (APL vitivinícola) y la empresa TresMontes Luchetti, según el RETC.

- **Descripción del proyecto**

Debido a la baja cantidad de residuos a valorizar y el origen de estos, se concluye que la mejor tecnología para tratarlos es el compostaje. De esta manera se propone la construcción de una planta de compostaje mediante pilas con volteo mecánico, dado que es un método sencillo, económico y eficiente para el tratamiento de residuos orgánicos provenientes de la actividad vitivinícola, como el

escobajo y orujo y poda, y de materiales inadecuados para el consumo o la elaboración, como cáscaras, café, frutas, residuos de cocina, tabaco, entre otros.

Para la capacidad de tratamiento de la planta de compostaje, se establece un factor de sobredimensionamiento del 20%, lo que corresponde a una capacidad de 1.579 TPA de residuos. Lo anterior con el objetivo de poder cubrir la cantidad de residuos a tratar en caso de aumentar la actividad vinícola y, por ende, la generación de residuos orgánicos de la industria. A su vez, se estima que el proyecto produciría 192 TPA de compost (se asume 15% del total de residuos compostados⁸).

- **CAPEX y OPEX**

Para el cálculo de la inversión del proyecto se consideró la experiencia de ImplementaSur en el diseño y evaluación de proyectos de compostaje a nivel nacional e internacional e información de costos y presupuestos levantados en el marco del Programa Reciclo Orgánicos. Se estima que la inversión necesaria para un proyecto de 1.579 toneladas de residuos orgánicos es de alrededor de \$293.000 USD, estimación que considera la ingeniería de detalle, las obras civiles, la maquinaria para la operación como un minicargador (para la recepción y mezcla de residuos, movimiento y volteo de pilas), chipeadora y harnero, además de equipamiento para medir y poder tener un control de los parámetros de importancia en el proceso. Es importante mencionar que este monto de inversión no considera la adquisición del terreno, el que se estima que debe ser menor a media hectárea.

Con respecto a los costos operacionales de la planta, se estima un OPEX de cerca de \$47.000 USD anuales, compuesto por gastos en sueldos, combustible, transporte de residuos que no cumplen con los estándares para ser compostados y mantención de maquinaria, equipamiento y obras civiles. Al igual que los costos de inversión, estas estimaciones se realizaron tomando de referencia la experiencia e información de ImplementaSur obtenida en el marco del Programa Reciclo Orgánicos.

- **Generación de empleos**

La implementación de este proyecto implicaría un aporte al desarrollo de la región con la generación de empleos. Según la experiencia en el desarrollo del Programa Reciclo Orgánicos, para una planta de compostaje de las características mencionadas se necesitarían alrededor de 4 personas, en particular, un trabajador manual, un operario de maquinaria, un supervisor/administrativo y opcionalmente un guardia. Dado que los residuos actualmente son transportados a disposición final, se asume que no se crearían nuevos puestos de trabajo para el transporte hacia la planta de compostaje.

- **Ubicación**

Respecto a la posible ubicación del proyecto (Figura 6-1), se sugiere el área comprendida por las coordenadas presentadas en la Tabla 6-1 por ser un sector central entre las viñas más importantes del territorio. Adicionalmente el área se encuentra a una distancia razonable del sector urbano, y posee fácil accesibilidad.

⁸ Se asume que la producción de compost corresponde al 15% de los residuos compostados. Este es un escenario conservador dado que según juicio experto el compost puede ser el 30% del total. Para más información consultar: <https://mma.gob.cl/compostaje-una-tendencia-para-combatir-el-cambio-climatico-2/#:~:text=Anualmente%20reciclan%20120.000%20toneladas%20de,toneladas%20de%20compost%20por%20a%C3%B1o.>

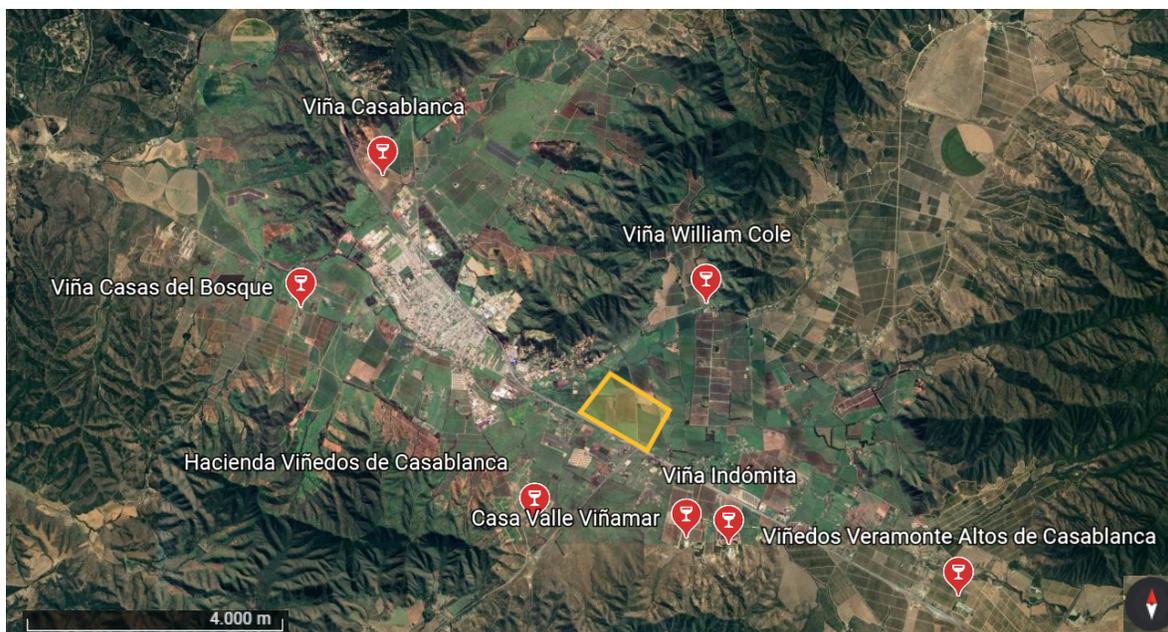


Figura 6-1: Ubicación del área propuesta para la planta de compostaje – Valle de Casablanca, Región de Valparaíso.

Fuente: Elaboración propia a partir de Google Earth

Tabla 6-1: Ubicación del área propuesta – Valle de Casablanca, Región de Valparaíso.

Coordenadas de ubicación propuesta		
Vértices	Coordenadas	
	Este	Norte
V1	278877,5	6309022,9
V2	279454,7	6309806,6
V3	280686,2	6309125,6
V4	280239,6	6308283,3

Fuente: Elaboración propia

Las distancias entre los principales viñedos del territorio hacia el centro del polígono se muestran en la tabla a continuación.

Tabla 6-2: Distancias entre las viñas hacia el área propuesta – Valle de Casablanca, Región de Valparaíso.

Viñas	Distancia hacia zona propuesta (km)
Viñedos Veramonte	7,4
Viña Indómita	3,3
Casa Valle Viñamar	2,8
Viña William Cole	2,7
Viña Casablanca	6,6
Hacienda Viñedos de Casablanca	2,8
Viña Casas del Bosque	6,7

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con la zonificación de usos de suelos establecidos por el Plan Regulador Comunal de Casablanca y Catemu, el terreno quedaría fuera de los límites urbanos. Debido a que tampoco se cuenta con un Plan Regulador Intercomunal en la zona, para el desarrollo de un proyecto en el área propuesta se deberá contar con las autorizaciones de los órganos competentes, descritos en la sección 3.2., y con la aprobación del IFC elaborado.

Como sugerencia se propone que el desarrollador del proyecto contemple la colaboración con la Municipalidad de Casablanca y otras comunas aledañas con tal de adicionar residuos orgánicos municipales en las instalaciones. De esta forma, se puede entregar una gestión integral de los residuos orgánicos que son generados por la población y obtener otras fuentes de ingreso como los ingresos por el cobro de una tarifa de tratamiento en la planta.

- **Estimación de reducción de emisiones**

Un indicador que da información acerca del impacto de un proyecto es la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) que genera. Este valor indica cuántas emisiones se evitarían por el tratamiento alternativo de los residuos en comparación al caso sin proyecto o caso base.

Para la estimación de la reducción de emisiones que generaría el proyecto de compostaje en el Valle de Casablanca (Región de Valparaíso), se revisaron metodologías del Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL), las cuales fueron desarrolladas por la Convención Marco de Naciones Unidas para el Cambio Climático. Para este proyecto se utilizó la metodología AMS.III.F “Small – scale methodology: Avoidance of methane emissions through composting”⁹.

Para la aplicación de la metodología se realizaron diferentes supuestos y se tuvieron algunas consideraciones. Por ejemplo, se sugiere que para el correcto desarrollo del proceso de compostaje la mezcla en peso sea cercana a 40% de residuos frescos como verduras, vegetales y tabaco, y la fracción restante (60%) de residuos similares a restos de jardín, podas y parques. Esto para cumplir con la relación Carbono: Nitrógeno (C:N) óptima y evitar así la generación de inconvenientes.

También se asumió que todos los residuos orgánicos que se tratarían en la planta de compostaje actualmente se disponen en el Relleno Sanitario El Molle ubicado en la comuna de Valparaíso a una distancia promedio de 48 km de los generadores, mientras que la planta de compostaje se ubicaría en promedio a 4,6 km de distancia de cada generador, información que se detalla en el Anexo 7, junto con otros parámetros relevantes.

De esta manera, se obtiene que el potencial de reducción de emisiones del proyecto en un horizonte de evaluación de 20 años es de 1.298 tCO₂e en transporte y de 7.479 tCO₂e por el tratamiento de los residuos orgánicos industriales generados en el Valle de Casablanca, dando una reducción de 8.777 tCO₂e por el proyecto.

- **Resumen**

A modo de resumen, la siguiente tabla presenta el detalle de los parámetros de interés del perfil del proyecto de compostaje de residuos orgánicos industriales en el Valle de Casablanca.

Tabla 6-3: Perfil de proyecto de compostaje – Valle de Casablanca, Región de Valparaíso.

Perfil	Valor
Capacidad de tratamiento (TPA)	1.579
Capacidad de tratamiento (ton/día)	4,3
Cantidad de residuos orgánicos a valorizar (TPA)	1.316
Cantidad de compost producido (TPA)	192
Inversión estimada (USD)	\$ 293.000
Costos operacionales y de mantención estimados (USD)	\$ 47.000
N° de empleos generados	4
Estimación de reducción de emisiones en 20 años (tCO ₂ e)	8.777

⁹ <https://cdm.unfccc.int/methodologies/DB/NZ83KB7YHBIA7HL2U1PCNAOCHPUQYX>

6.1.2 Planta de digestión anaeróbica para el tratamiento de residuos orgánicos industriales

- **Residuos**

Dentro de los residuos orgánicos del Valle de Casablanca, se identificó que se generan anualmente 19.482 toneladas de purines en la industria lechera y ganadera de la zona a partir de 3 empresas que presentan un potencial para su valorización energética. Sumado a esto, la empresa TresMontes Luchetti produce de 12.159 toneladas de residuos orgánicos que según el RETC (2020), se entregan para aplicación en suelo, sin embargo, también podrían ser aprovechadas para la producción de energía. De esta manera se propone un proyecto de digestión anaeróbica a partir de estos residuos, que en su conjunto suman 31.641 TPA.

Con respecto a la composición de los residuos orgánicos, los de TresMontes Luchetti constan de cáscaras de especies vegetales, café, frutas, residuos de cocina, tabaco, entre otros, según las categorías del RETC, por lo que cuentan con características similares a la fracción orgánica de los residuos domiciliarios. Por otro lado, los purines están compuestos de estiércol de vacuno mezclado con agua de lavado y agua de lluvia, con una baja concentración de sólidos generalmente. La composición fisicoquímica de los purines depende de la proporción entre estiércol y agua, que varía fuertemente dependiendo de las condiciones ambientales, características y manejo de la planta agrícola.

- **Descripción del proyecto**

Para el diseño de la planta de biodigestión, se considera una capacidad de tratamiento 3% mayor a la cantidad de residuos orgánicos generados (Hernández Romero, 2016) para amortiguar la variabilidad en los sustratos recibidos, considerándose una planta capaz de recibir 32.464 TPA de residuos. Se contempla que estos residuos serían tratados mediante reactores de mezcla completa con recirculación, debido a que son idóneos para el aprovechamiento energético y para co-digestión.

En relación con los productos de la planta de biodigestión, según las fuentes consultadas¹⁰ se estima una producción de biogás de alrededor de 2 millones de m³, lo que justificaría la instalación de un módulo de cogeneración de 0,7 MW de potencia. La energía producida, de 4.235 MWh/año, podría inyectarse a la red y servir como una fuente de ingresos. Cabe destacar que la estimación del biogás producido posee una incertidumbre alta, dado que las tasas de producción de biogás a partir de purines en literatura presentan una alta variabilidad y están sujetas a parámetros fisicoquímicos que se deben obtener a partir de un análisis de laboratorio para los casos particulares. Sin embargo, se debe tener en cuenta que el purín lechero presenta el menor potencial de generación de biogás dentro de la escala de residuos orgánicos disponibles (ONUDI, 2017), por lo que es fundamental la mezcla con otros tipos de residuos orgánicos para potenciar la producción de energía de la planta. Por otro lado, la producción de digestato se estima en 4.900 TPA, el cual podría comercializarse en el mercado agrícola local.

¹⁰ Se usaron como referencia valores del Programa de biogás en el sector lechero (ONUDI, 2017) y la experiencia de ImplementaSur.

- **CAPEX y OPEX**

La inversión para el proyecto se estima que sería similar a la realizada por BioE, de unos \$5.000.000 USD, que incluye todos los costos de inversión necesarios para la implementación del proyecto como permisos, terreno, maquinaria, el proyecto de ingeniería, entre otros. De acuerdo con el estudio de biogás en el sector lechero en Chile (ONUDI, 2017), se muestra un ejemplo de un CAPEX de más de \$1.000.000 USD para una planta con reactores de mezcla completa, de 200 kW de capacidad energética que, al extrapolar para 0,7 MW de potencia, entregaría un valor también cercano a \$5.000.000 en valor presente. La inversión incluye costos de capital, almacenamiento de sustrato y productos, los digestores, planeación, ingeniería, permisos, entre otros. No se incluye el costo del terreno.

Para la estimación de los costos de operación y mantenimiento, se utiliza como referencia el Diagnóstico de plantas de biodigestión en lecherías de Los Ríos y Los Lagos (ONUDI, 2017), en el cual se plantea que el OPEX para plantas de tecnología de Reactores de mezcla completa (CSTR) corresponde a un 8% del total de la inversión. Este valor se determinó con un estudio de fuentes internacionales, junto con juicio de experto. De esta manera, se estima un OPEX de \$400.000 USD anuales.

- **Generación de empleos**

Los empleos generados por este proyecto serían alrededor de 22, sin incluir la gerencia, si se toma como base la experiencia de BioE en el rubro al tener una capacidad de tratamiento similar al proyecto propuesto. Como referencia, se necesitarían 10 operadores con turnos rotativos, incluyendo las jefaturas de esta área, 5 personas para el equipo de mantenimiento, 2 administrativos, 2 personas para el pesaje, 1 prevencionista de riesgos y opcionalmente 2 guardias. Cabe destacar que los 22 trabajadores no estarían trabajando de manera simultánea, sino que mediante turnos.

- **Ubicación**

Para determinar la ubicación del proyecto, se localizaron las empresas generadoras consideradas para este proyecto (Agrícola Santa Sara, Agrícola El Mirador, Agrícola Balbontín y TresMontes Luchetti) para determinar una zona de fácil acceso para recibir los residuos generados por ellas.

Para este estudio, se propone ubicar el proyecto en una zona industrial, de acuerdo con la zonificación de usos de suelo del Plan Regulador Comunal de Casablanca, a 70 metros de la Ruta 68 que une Santiago con Valparaíso. Dicha localización es de fácil acceso desde todos los caminos del sector y se ubica en una zona intermedia entre las empresas agrícolas mencionadas anteriormente.

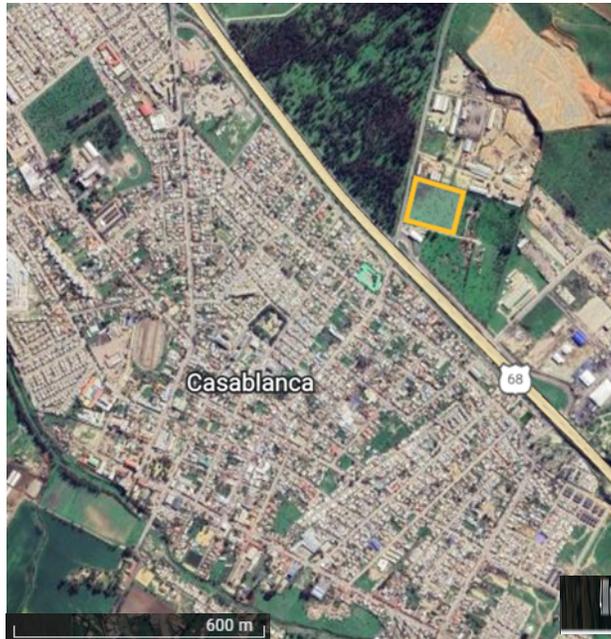


Figura 6-2: Ubicación del área propuesta para la planta de digestión anaeróbica-Comuna de Casablanca.
Fuente: Elaboración propia a partir de Google Earth

Tabla 6-4: Ubicación del área propuesta – Valle de Casablanca

Coordenadas de ubicación propuesta		
Vértices	Coordenadas	
	Sur	Oeste
V1	276391,3	6311493,3
V2	276440,2	6311494,5
V3	276570,3	6311466,7
V4	276547,2	6311342,9

Fuente: Elaboración propia

- **Estimación de reducción de emisiones**

Se realizaron múltiples supuestos para la estimación de la reducción de emisiones que este proyecto generaría. Uno de los más importantes se explica a continuación; se tiene que los residuos orgánicos provenientes de TresMontes Luchetti se entregan para aplicación en el suelo en el caso base, por lo que se asume que su descomposición será casi completamente aeróbica. Esto implica una producción de metano muy baja, que se asume equivalente a las emisiones que se generaría por el tratamiento de los mismos residuos mediante biodigestión y la recuperación del biogás para producción eléctrica.

Para la estimación de la reducción de emisiones dadas por el manejo alternativo de los purines, se utilizaron metodologías del Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL), las cuales fueron desarrolladas por la Convención Marco de Naciones Unidas para el Cambio Climático. En particular, se utilizó la metodología AMS.III.AO “Small – scale methodology: Methane recovery through controlled anaerobic

digestion”¹¹. Esta metodología se utiliza para calcular cuántas emisiones de GEI se evitarían con el proyecto de biodigestión y generación eléctrica, en comparación con la gestión actual de los purines, que corresponde al acopio en hoyos en los mismos predios.

Para la aplicación de esta metodología, se definieron ciertos parámetros clave para el cálculo de reducción de emisiones, los cuales se resumen en el Anexo 7. A partir de esto, se obtuvo que el tratamiento de los purines mediante biodigestión, junto con la producción de electricidad a partir del biogás recuperado reduciría 39.088 tCO₂e en 20 años. En comparación a otros proyectos de la misma magnitud este valor resulta bajo, lo que se explica principalmente por tres razones. En primer lugar, en el caso base los residuos se acopian en un hoyo que se asume de baja profundidad, sin un mayor manejo ni compactación. Esto provoca que las emisiones en el caso sean considerablemente más bajas en comparación a un relleno sanitario¹². En segundo lugar, las condiciones climáticas juegan un rol importante. En la zona hay temperaturas relativamente altas y bajas precipitaciones en comparación con el sur del país. Esto causa que en el caso base los residuos se descompongan más lentamente y la tasa de emisión de GEI es más baja, en comparación con zonas geográficas más lluviosas de menor temperatura. En tercer lugar, los purines tienen una baja concentración de materia orgánica en comparación a otros residuos, lo que implica, entre otras cosas, que la producción de metano sea baja.

También se consideraron las emisiones por transporte. En el caso base los purines no se transportan, pero en el caso con proyecto sí. De esta manera, se emiten más GEI en el caso donde existe la planta de biodigestión, dado por la quema de combustibles fósiles en los camiones. Para la cuantificación de las emisiones se consideraron las distancias desde los generadores de los purines hacia la planta propuesta, detallados en el Anexo 6, obteniéndose que a causa del proyecto de biodigestión se producirían un total de 2.418 tCO₂e en 20 años solo por el transporte de los residuos. De esta manera, el proyecto completo, incluyendo el tratamiento de los residuos, producción eléctrica con inyección a la red y el transporte, reduciría 36.669 tCO₂ en comparación al caso base.

Cabe destacar que esta estimación puede estar alejada de la realidad por la gran cantidad de supuestos que se realizaron. Para una evaluación más certera será necesario tener más información sobre los residuos y el tipo de manejo actual.

- **Resumen**

Finalmente, se presenta un resumen de los principales parámetros para el proyecto propuesto.

Tabla 6-5: Perfil de proyecto de digestión anaeróbica – Valle de Casablanca.

Perfil	Valor
Capacidad de tratamiento (TPA)	32.464
Capacidad de tratamiento (ton/día)	88,9
Cantidad de residuos orgánicos a valorizar (TPA)	31.641
Biogás producido (m ³)	2.081.045
Energía (MWh/año)	4.235
Potencia nominal (MW)	0,7
Cantidad de digestato producido (TPA)	4.900

¹¹ <https://cdm.unfccc.int/methodologies/DB/F5U41CTG7ENWK9RSS15BV1LUPDG76W>

¹² Debido a que la descomposición en un hoyo de esas características probablemente causará la descomposición tanto aeróbica como anaeróbica de los residuos y eso implica que la producción de metano va a ser menor en comparación a un relleno sanitario, en donde la compactación causa una descomposición mayormente anaeróbica de los residuos y, en consecuencia, se producen grandes cantidades de metano. Cabe destacar que la metodología mencionada solo considera las emisiones de metano, ya que las emisiones de dióxido de carbono generadas por los residuos se consideran como biogénicas, es decir, parte del ciclo natural del carbono.

Inversión estimada (USD)	\$ 5.000.000
Costos operacionales y de mantención estimados (USD)	\$400.000
N° de empleos generados	22
Estimación de reducción de emisiones en 20 años (tCO2e)	36.669

Fuente: Elaboración propia

6.2 Región del Maule

6.2.1 Compostaje de residuos orgánicos industriales

- **Residuos**

Se identifica mediante entrevistas que el sector agrícola en la región es un gran productor de residuos orgánicos. Sin embargo, como no fue posible obtener una estimación a partir del RETC, la cantidad de residuos se estimó según la cantidad de superficie plantada por especie (frutal, hortícola, vitivinícola y cultivos), basado en una tasa de generación de residuos por hectárea según especie tal como se muestra en la Tabla 6-6 (para más detalles referirse al Anexo 8.2). De esta forma, se tiene que la cantidad de residuos valorizables es de 97.054 TPA, compuestos principalmente por paja, tallos, raíces, hojas, frutos no aprovechables y restos de poda (J. Moreno, 2014).

Tabla 6-6: Caracterización de residuos orgánicos a tratar en el proyecto.

Tipo de cultivo	Superficie plantada considerada (ha)	Tasa de generación promedio ponderada de residuos (ton/ha)	Residuos orgánicos totales generados (TPA)	Fración de residuos valorizados (%)	Residuos orgánicos no valorizados (TPA)
Frutal	76.374	2,8	212.320	90%	21.232
Hortícola	2.479	1,8	4.364	90%	436
Vitivinícola	52.617	2,8	146.276	90%	14.628
Otros	76.759	7,9	607.581	90%	60.758
Total	208.229	-	970.540	-	97.054

Fuente: Elaboración propia

- **Descripción del proyecto**

Debido al origen de los residuos a tratar, se escogió la tecnología de compostaje mediante pilas con volteo mecánico. Al igual que el proyecto de residuos orgánicos de Casablanca, la elección de esta tecnología se debe a que es un método sencillo, económico (en comparación a otros) y eficiente para esta zona del país debido a las bajas precipitaciones¹³.

Para la capacidad de la planta de compostaje, al igual que el proyecto anterior, se establece un sobredimensionamiento de la capacidad de un 20%, por lo que la capacidad de la planta corresponde a 116.465 TPA de residuos orgánicos. Esto con el objetivo de poder cubrir la cantidad de residuos a tratar en caso de aumentar la actividad agroindustrial o de que se haya sobreestimado el porcentaje de valorización de residuos orgánicos de la región.

¹³ Para más información consultar el Manual de compostaje, una herramienta para combatir el cambio climático. Disponible en: <https://reciclorganicos.com/wp-content/uploads/2021/12/Manual-de-compostaje-30-12-21-final-comprimido.pdf>

La producción de compost estimada es de 14.154 TPA (se asume 15% del total de residuos compostados¹⁴). En este caso, se propone que el compost producido sea comercializado en la zona dado que es una de las principales actividades de la Región o bien para la aplicación en suelos agrícolas de otras regiones del país.

- **CAPEX y OPEX**

En cuanto a la inversión del proyecto, la estimación se realizó tomando de referencia la experiencia e información de ImplementaSur obtenida en el marco del Programa Reciclo Orgánicos. Para este caso, se estima que la inversión es cercana a los \$7.532.000 USD, lo cual contemplaría la ingeniería de detalle, obras civiles (de la cual gran parte de la inversión de este ítem es para la implementación de una superficie impermeable y el sistema de manejo de lixiviados para asegurar su correcta gestión), maquinarias (cargadores, volteadora, chipeadora y harneros) y la compra de equipamiento necesario para el control de los parámetros de interés en proceso de compostaje. Al igual que el proyecto anterior, esta estimación no considera la adquisición del terreno que en este caso corresponde a alrededor de 9 hectáreas.

Con respecto a los costos operacionales de la planta, se estima un OPEX de cerca de \$351.000 USD anuales, compuesto por gastos en sueldos, combustible, transporte de residuos que no cumplen con los estándares para ser compostados y mantención de maquinaria, equipamiento y obras civiles. Al igual que los costos de inversión, estas estimaciones se realizaron tomando de referencia la experiencia e información de ImplementaSur obtenida en el marco del Programa Reciclo Orgánicos.

Como caso de éxito de compostaje industrial a gran escala, se tiene la experiencia de la empresa Armony, cuya planta de compostaje se ubica en Pudahuel, Región Metropolitana, y cuenta con un terreno de 12 hectáreas para el tratamiento de más de 120.000 toneladas de residuos industriales al año y una producción de 36.000 TPA (Armony Sustentable, 2021).

- **Generación de empleos**

La implementación de este proyecto implicaría un aporte al desarrollo de la región con la generación de empleos. Según el estudio de pre-factibilidad para proyecto de biodigestión en Puerto Varas (CCAC & CCAP, 2018), se estima que será necesario un trabajador por cada 4.000 – 5.000 TPA para un sistema de compostaje sin aeración forzada, considerando tanto trabajadores administrativos como encargados de planta. De esta manera se generarían entre 23 y 29 empleos.

- **Ubicación**

Con respecto a la posible ubicación del proyecto, se ubicaron geográficamente las empresas agroindustriales de la región (Figura 6-3) señaladas en el Directorio de Empresas Agroindustriales de la Región del Maule (Maule Alimenta, 2022) y las empresas que declararon sus residuos de acuerdo con la base de datos de RETC en el año 2020. De acuerdo con este análisis (Anexo 8.3), se determinó la existencia de dos zonas que concentran la mayor cantidad de empresas agrícolas del territorio que coinciden con las comunas de Curicó y Talca.

¹⁴ Se establece como escenario conservador una producción del 15% del total de residuos tratados, sin embargo, juicio experto y experiencias de éxito proponen que la producción de compost puede ser cercana al 30% de la cantidad tratada.

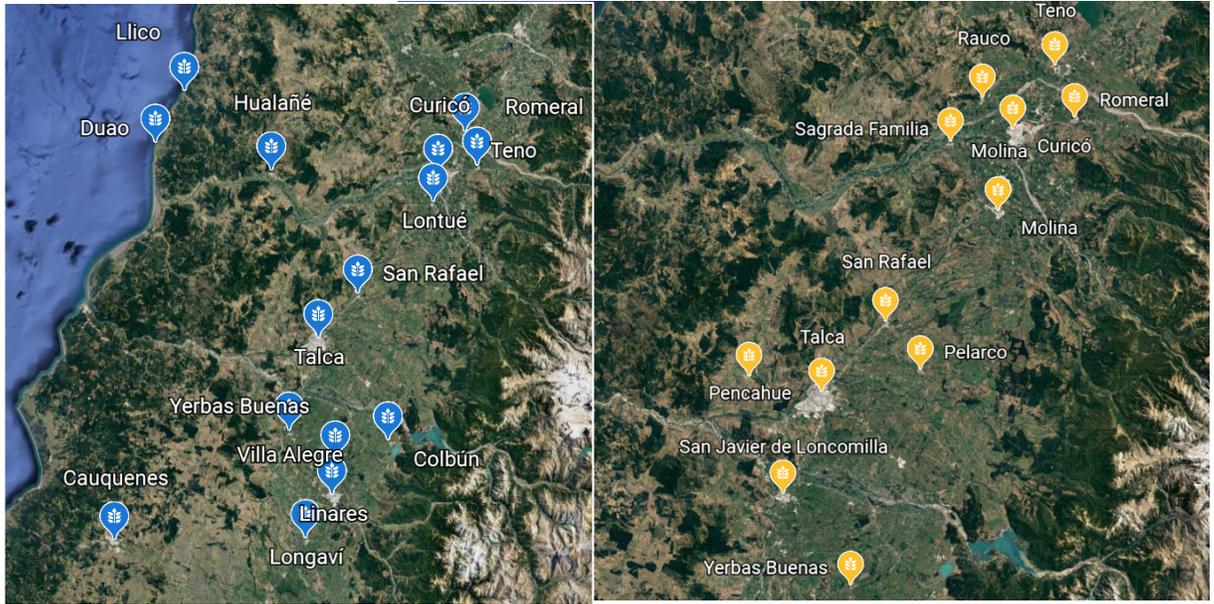


Figura 6-3: Empresas Agroindustriales. *Izquierda:* Fuente Maule Alimenta. *Derecha:* Fuente RETC – Región del Maule. Fuente: Elaboración propia a partir de Maule Alimenta.

Para este estudio, y como localización preferente, se propone ubicar el proyecto en un área cercana a la ciudad de Talca presentada en la Figura 6-4 de acuerdo con las coordenadas señaladas en la Tabla 6-7. Se propone esta ubicación debido a la cantidad de empresas agroindustriales en el sector, y al fácil acceso (cercana a la ruta 5 sur). Se descarta ubicarla más al norte debido a la presencia de EcoMaule en la comuna de Río Claro. Esta zona corresponde a un área industrial de acuerdo con la zonificación de usos de suelos del Plan Regulador Intercomunal de Talca.

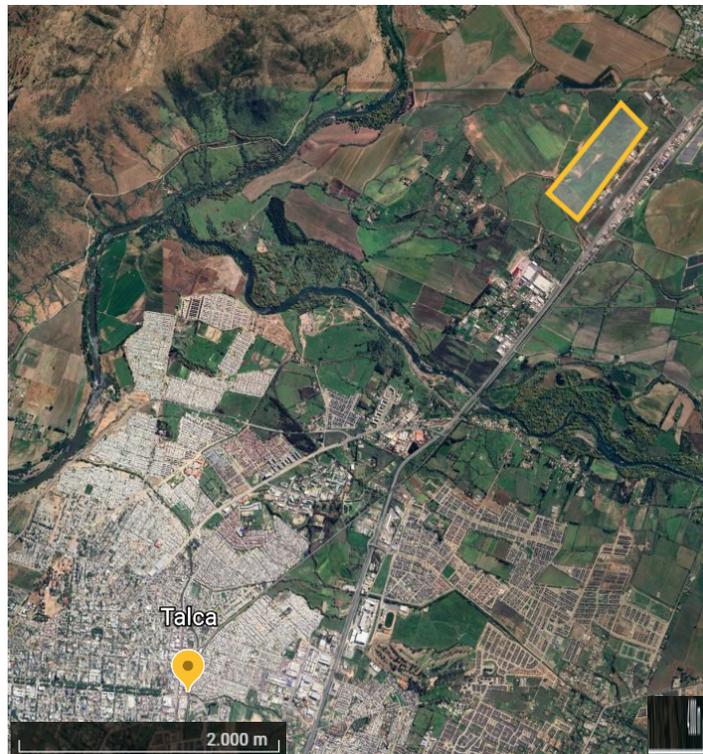


Figura 6-4: Ubicación del área propuesta para la planta de compostaje – Región del Maule.

Fuente: Elaboración propia a partir de Google Earth

Tabla 6-7: Ubicación del área propuesta – Región del Maule

Coordenadas de ubicación propuesta		
Vértices	Coordenadas	
	Sur	Oeste
V1	263667,1	6082755,6
V2	263900,7	6082515
V3	263293,2	6081604,7
V4	262982,3	6081904,9

Fuente: Elaboración propia

- **Estimación de reducción de emisiones**

Al igual que el proyecto de compostaje de Casablanca, para la estimación de la reducción de emisiones que el proyecto significaría se utilizó la metodología AMS-III.F “Small-scale methodology: Avoidance of methane emissions through composting¹⁵”, desarrollada por la Convención Marco de Naciones Unidas para el Cambio Climático. Para la aplicación de la metodología se realizaron diferentes supuestos y se tuvieron algunas consideraciones, entre ellos la proporción entre residuos orgánicos frescos y los de jardín de 40% y 60% del peso, respectivamente. Un resumen de los parámetros utilizados se presenta en el Anexo 7.

En este caso también se asumió que todos los residuos orgánicos que se tratarían en la planta de compostaje actualmente se disponen en el Relleno Sanitario El Retamo ubicado en la comuna de Talca. Es importante considerar que, debido a la falta de información de la ubicación de los principales generadores de la Región, las distancias que se utilizan para calcular el potencial de mitigación del proyecto dado por el proceso de transporte están calculadas al centro de la ciudad. De esta forma, para la situación sin proyecto se tiene una distancia promedio de 21,5 km (centro de la ciudad al sitio de disposición), y para la situación con proyecto es de 7,6 km (centro de la ciudad a la posible ubicación de la planta de compostaje).

Con los parámetros utilizados, se obtiene que el potencial de reducción de emisiones del proyecto en un horizonte de evaluación de 20 años es de 30.366 tCO₂e en transporte y de 1.188.614 tCO₂e por el tratamiento de los residuos orgánicos industriales. De esta forma, el potencial de mitigación total sería de 1.218.980 tCO₂e.

- **Resumen**

La siguiente tabla presenta el detalle de los parámetros de interés del perfil del proyecto de compostaje de residuos orgánicos industriales en la Región del Maule.

Tabla 6-8: Perfil de proyecto de residuos orgánicos – Región del Maule

Perfil	Valor
Capacidad de tratamiento (ton/año)	116.465
Capacidad de tratamiento (ton/día)	319
Cantidad de residuos orgánicos a valorizar (ton/año)	97.054
Cantidad de compost producido (ton/año)	14.154

¹⁵ <https://cdm.unfccc.int/methodologies/DB/NZ83KB7YHBIA7HL2U1PCNAOCHPUQYX>

Perfil	Valor
Inversión estimada (USD)	\$ 7.530.000
Costos operacionales y de mantención estimados (USD)	\$ 351.000
N° de empleos generados	23 a 29
Estimación de reducción de emisiones en 20 años (tCO2e)	1.218.980

Fuente: Elaboración propia

6.2.2 Planta de reciclaje para residuos plásticos agrícolas

- **Residuos**

A partir de las conversaciones con diversos actores de la zona de interés, se identificó que los plásticos agrícolas y ganaderos son importantes de valorizar en la Región. Según la estimación detallada en el Anexo 6, del total de plásticos producidos en esos sectores sería posible valorizar 1.334 toneladas de residuos plásticos. Estos se componen principalmente de LDPE, utilizado generalmente como films para recubrimiento de invernaderos y acolchado para protección contra plagas, y HDPE, provenientes de ensilajes y envases de productos agrícolas.

Estos residuos son comúnmente quemados (Ministerio del Medio Ambiente, 2018), lo que produce sustancias tóxicas y contaminantes, por lo que se hace necesario su manejo y valorización. Para esto existen varias alternativas descritas en el Capítulo 5 como la reutilización, sin embargo, esta se torna compleja al disponerse generalmente en malas condiciones (rotos y/o sucios). Siguiendo el ejemplo de la empresa Procesadora de Plásticos Puelche PPP, se concluye que la mejor tecnología para tratar estos tipos de residuos es el reciclaje mecánico, por lo que se propone una planta recicladora de plásticos.

- **Descripción del proyecto**

Para el dimensionamiento de esta planta se considera como supuesto un 20% de capacidad extra para poder recibir residuos plásticos de otras industrias, que vengan en mejores condiciones, para mejorar la calidad del producto final. De esta manera, la planta podría recibir un total de 1.600 TPA de plásticos, que pasarán por las etapas descritas en el Capítulo 5, luego de una etapa de clasificación del tipo de resina. Además, es necesario recalcar que, debido a que los plásticos usualmente vienen contaminados con tierra, vegetación, humedad, grasa, entre otros, sería necesario incluir al proceso varias etapas de lavado para que sean aptos para ser reciclados, las que serían fundamentales para el éxito del reciclaje.

Con respecto a los productos, si la planta funciona a capacidad completa, se estima una producción de pellets de 1.457 toneladas¹⁶, los cuales tendrían una calidad no muy alta debido a la degradación por la luz ultravioleta a la que están expuestos los plásticos durante su vida útil, sumado a la aplicación de temperatura para fundirlo (Prieto, Plastics Technology Mexico, 2017). Los pellets pueden ser comercializados para fabricar productos como films, láminas, bolsas y sacos, tuberías, cintas de riego, mangueras, lonas, geomembranas, utensilios agrícolas, entre otros (Green World Compounding, s.f.), que pueden ser utilizados para la misma industria agrícola y pesquera, quienes consumen un 18% del plástico reciclado a nivel nacional (Asipla, 2021).

- **CAPEX y OPEX**

Sobre la inversión del proyecto, se utiliza el estudio de InvestChile (InvestChile, 2021) como referencia para la estimación del proyecto. Realizando una proporción simple con respecto a la capacidad de la

¹⁶ Considerando una eficiencia de transformación del plástico a pellet de un 85% (Avilés, 2015) (Avilés, 2015).

planta del estudio comparado a la capacidad de la planta propuesta, la inversión se estima cercana a \$4.200.000 USD, la cual incluye costos de infraestructura, máquinas e instalaciones menores y costos administrativos, excluyendo el costo del terreno. A su vez, el OPEX se estima en \$284.706 USD, utilizando el mismo estudio, el cual incluye mano de obra, costos fijos, electricidad, entre otros.

- **Generación de empleos**

Con respecto a la generación de empleos que implicaría el proyecto, se toma como referencia la planta PPP, cuya capacidad duplica la del proyecto propuesto, pero es la mejor referencia disponible para plantas que reciben esa orden de magnitud de residuos. Se asume que el personal necesario para el proyecto propuesto en el Maule será la mitad del necesario para PPP. De esta manera se estima una generación de 12 puestos de trabajo, sin incluir gerencia. En particular se incluirían 2 administrativos, 5 personas dedicadas al proceso de selección, lavado y picado, y 5 personas dedicadas a la pelletización. El trabajo sería por turnos, por lo que los 12 trabajadores no se encontrarían simultáneamente en la planta.

- **Ubicación**

Se propone ubicar la planta recicladora de plásticos en una zona cercana a la ciudad de Talca (Figura 6-5). Esta ubicación (Tabla 6-9) se encuentra en una zona industrial de acuerdo con el Plan Regulador Intercomunal de Talca. Dentro de las ventajas de esta zona propuesta está su accesibilidad a la Ruta 5 Sur, su proximidad a numerosas empresas agrícolas y su cercanía a la ciudad de Talca desde donde se podrían comercializar los pellets.

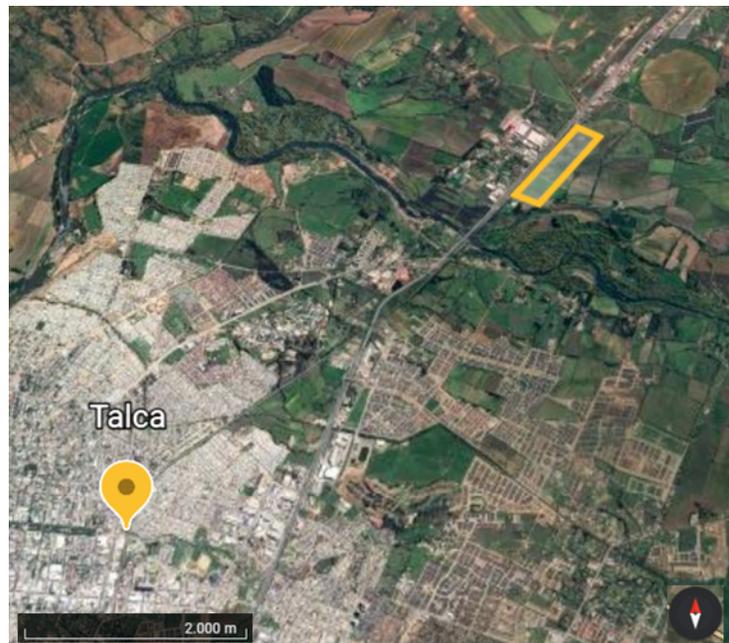


Figura 6-5: Ubicación del área propuesta para la planta recicladora de plásticos –Región del Maule.

Fuente: Elaboración propia a partir de Google Earth

Tabla 6-9: Ubicación del área propuesta para la planta de reciclaje de plásticos –Región del Maule.

Coordenadas de ubicación propuesta		
Vértices	Coordenadas	
	Sur	Oeste
V1	263330,7	6081143,1
V2	263536,6	6080994,4
V3	263000,9	6080240,1
V4	262669,6	6080354,7

Fuente: Elaboración propia

- **Estimación de reducción de emisiones**

Para la estimación de la reducción de emisiones que este proyecto generaría, se utilizó una metodología desarrollada por la Convención Marco de Naciones Unidas para el Cambio Climático, en particular AMS-III.AJ “Small-scale methodology: Recovery and recycling of materials from solid wastes”¹⁷. Esta metodología considera que los pellets de plástico reciclado reemplazarían una cantidad equivalente de plásticos vírgenes, por lo que se evitaría su producción si es que se desarrollara el proyecto. Además, esta asume que las emisiones por transporte de la resina plástica virgen serían equivalentes a las generadas por el transporte del plástico reciclado, por lo que se asume que no habría una reducción de emisiones asociado al transporte.

Para la aplicación de la metodología, se asumió que la composición de los plásticos agrícolas es 50% HDPE y 50% LDPE y los parámetros utilizados fueron en su mayoría datos por defecto recomendados por la metodología, algunos de los cuales se muestran en el Anexo 7. Estos tienen relación con el consumo de electricidad y combustibles fósiles para la fabricación de las resinas vírgenes. Con esta información se estima que el proyecto propuesto de reciclaje de plásticos agrícolas reduciría un total de 7.492 tCO₂e en un horizonte de evaluación de 20 años.

- **Resumen**

Finalmente, se presenta un resumen de los principales parámetros para el proyecto propuesto.

Tabla 6-10: Perfil de proyecto para planta de reciclaje de plásticos – Región del Maule.

Perfil	Valor
Capacidad de tratamiento (TPA)	1.600
Capacidad de tratamiento (ton/día)	4,4
Cantidad de residuos inorgánicos a valorizar (TPA)	1.334
Cantidad de pellets producidos (TPA)	1.457
Inversión estimada (USD)	\$ 4.200.000
Costos operacionales y de mantención estimados (USD)	\$ 284.706
N° de empleos generados	12
Estimación de reducción de emisiones en 20 años (tCO ₂ e)	7.492

Fuente: Elaboración propia

¹⁷ <https://cdm.unfccc.int/methodologies/DB/LOWIXM9S6DVO7DGB21DPVLE8N3VB9>

6.3 Región de Los Lagos

6.3.1 Planta de digestión anaeróbica para el tratamiento de residuos orgánicos industriales

- **Residuos**

Dentro de los residuos orgánicos de la Región de Los Lagos se identificó que los lodos industriales y restos de tejidos animales tienen un gran potencial de valorización. Para su cuantificación se determinó que la mejor fuente de información es el RETC, con la cual se obtuvo que existen al menos 49.468 toneladas de estos residuos sin valorizar anualmente.

La composición de estos residuos son lodos generados a partir de la elaboración de alimentos o de tratamientos biológicos ya realizados en las plantas generadoras, restos de tejidos animales a partir de su procesamiento, productos lácteos y heces de animales, todos categorizados como residuos no peligrosos. Un porcentaje de estos tipos de residuos ya son tratados en una planta de biodigestión en la región de Los Ríos, lo que demuestra un precedente en la aplicación de la digestión anaeróbica para los residuos seleccionados.

- **Descripción del proyecto**

Dada la composición y magnitud de los residuos, se determina que la mejor tecnología para tratarlos es la biodigestión, que consta en un proceso cerrado para controlar olores y vectores, lo que es más viable en comparación al compostaje. De esta manera, la propuesta consiste en el tratamiento de 49.468 TPA de estos tipos de residuos mediante digestión anaeróbica. Si bien la información del RETC podría estar desactualizada, a través de entrevistas se validó la existencia de suficientes residuos orgánicos de estos tipos como para justificar una planta de la capacidad propuesta.

Para el diseño de la planta de digestión anaeróbica, se considera una capacidad de tratamiento 3% mayor a la cantidad de residuos orgánicos generados (Hernández Romero, 2016), que corresponde a 50.753 TPA. Estos residuos serían tratados mediante reactores de mezcla completa (CSTR) con recirculación, debido a que es la tecnología más común para el tratamiento de tal magnitud de residuos industriales. Además, sería necesario contar con un pretratamiento de los residuos para triturar los sólidos que provengan de los restos de tejidos animales principalmente.

Con respecto a los productos de la planta, según fuentes consultadas y la experiencia de ImplementaSur, se estima que la producción de biogás sería alrededor de 4 millones de m³, lo que justifica un módulo de cogeneración de 1,3 MW de potencia. Mientras que la energía eléctrica puede ser inyectada a la red, el calor generado puede ser vendido a un cliente cercano y/o utilizado para las operaciones de la planta. Por otro lado, la producción de digestato se estima en 8.940 TPA, cuyas fracciones líquidas y sólidas podrían ser comercializadas en el mercado agrícola para su aplicación como fertilizante o agua de riego rica en nutrientes.

- **CAPEX y OPEX**

La inversión para el proyecto o CAPEX se estima entre \$4.700.000 y \$7.500.000 USD. El primer valor es calculado utilizando proyecciones de valores de inversión¹⁸ e incluye equipos mecánicos y costos de instalación, costos civiles y estructurales, instalación de equipos eléctricos, costos indirectos del

¹⁸ Se utiliza un valor de CAPEX de \$3.669 USD por kWe de potencia instalada, valor tomado de (Joint Research Centre of the European Commission, 2014) y llevado a valor presente.

proyecto y costos del propietario, sin incluir el costo del terreno. El segundo valor se calculó tomando como referencia el proyecto de BioE, actualizado a valores actuales y proporcional a la capacidad de la planta. Debido a que no existen más datos públicos de proyectos similares en Chile, se asume que la inversión estará entre los dos valores proporcionados.

Para la estimación de los costos de operación y mantención, nuevamente se utiliza como referencia el Diagnóstico de plantas de biodigestión en lecheras de Los Ríos y Los Lagos (ONUDI, 2017), en el cual se plantea que el OPEX para plantas de tecnología CSTR corresponde a un 8% del total de la inversión. Este valor se determinó con un estudio de fuentes internacionales, junto con juicio de experto. De esta manera, se estima un OPEX de \$491.959 USD anuales para este proyecto.

- **Generación de empleos**

Con respecto a la cantidad de empleos que el proyecto generaría, se toma como referencia el análisis técnico y económico de una planta de biodigestión de 65.000 TPA (Hernández Romero, 2016). De acuerdo con el estudio, serían necesarios 28 trabajadores para la operación de la planta, sin incluir la gerencia. En particular 6 jefes (de administración, laboratorio, explotación, de turno y de mantenimiento), 3 administrativos, 6 operadores de máquinas, 6 auxiliares, 2 guardias, 1 técnico auxiliar, 2 eléctricos y 2 mecánicos. Cabe destacar que no se considera que los 28 trabajadores trabajen simultáneamente y a tiempo completo, sino que algunos se consideran como medio tiempo y hay puestos por turnos, por ejemplo, el de guardia. Debido a que ya se realiza el transporte de los residuos a sitios de disposición final en la actualidad, se asume que no se crearán nuevos puestos de trabajo para el transporte a la planta propuesta.

- **Ubicación**

Se propone que el proyecto sea ubicado cercano a Puerto Montt (Figura 6-6), debido a la cercanía con los mayores generadores de estos residuos según el RETC. A continuación, se presenta un mapa con la ubicación propuesta y una tabla con las coordenadas asociadas al área (Tabla 6-11). Esta área propuesta se encuentra también cercana a la Bahía de Ilque, en donde existen plantas de procesamiento de salmónidos. De acuerdo con la zonificación de usos de suelos establecidos por el Plan Regulador Comunal de Puerto Montt, esta zona se encuentra fuera del límite urbano vigente. Debido a que tampoco se cuenta con un Plan Regulador Intercomunal en la zona, para el desarrollo de un proyecto en el área propuesta se deberá contar con las autorizaciones de los órganos competentes, descritos en la sección 3.2., y con la aprobación del IFC elaborado.

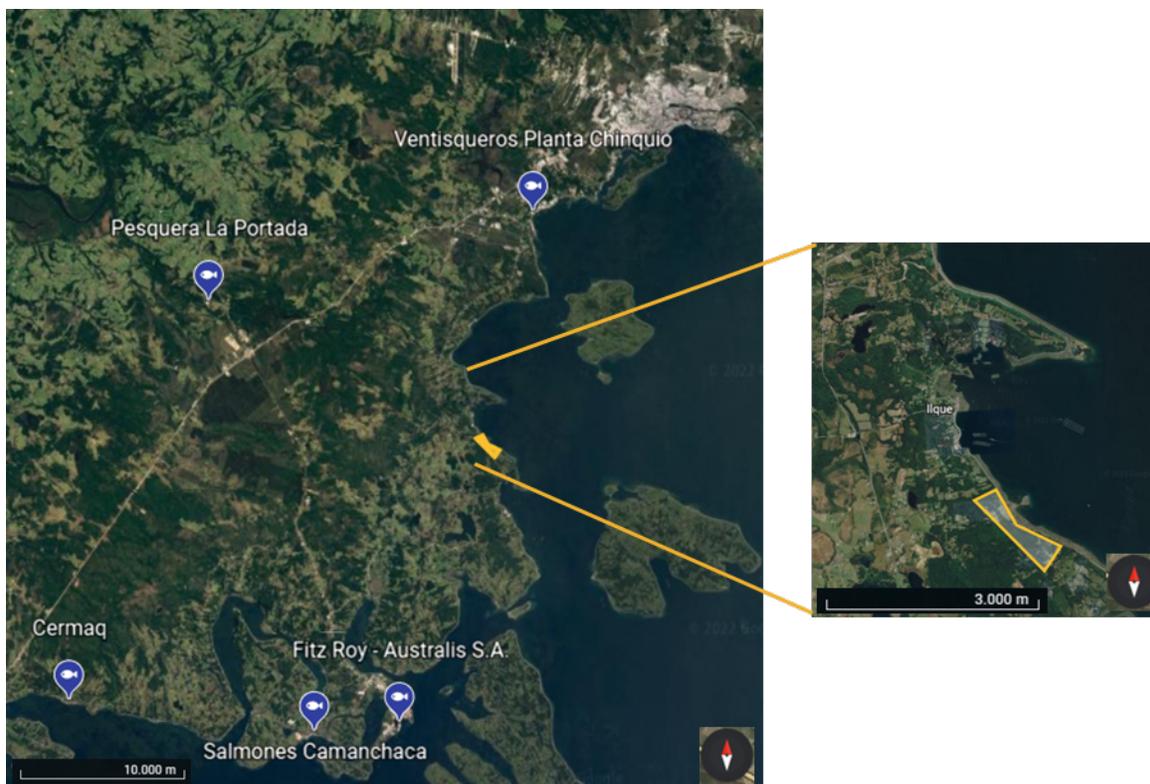


Figura 6-6: Ubicación del área propuesta para la planta de digestión anaeróbica– Región de Los Lagos.

Fuente: Elaboración propia a partir de Google Earth

Tabla 6-11: Ubicación del área propuesta – Región de Los Lagos.

Coordenadas de ubicación propuesta		
Vértices	Coordenadas	
	Sur	Oeste
V1	659923	538915,5
V2	660202,7	5389238,9
V3	660478,7	5388121,8
V4	660848,8	5388113,6
V5	661087,8	5388447,6

Fuente: Elaboración propia

- **Estimación de reducción de emisiones**

Para la estimación de la reducción de emisiones que el proyecto generaría también se utilizaron metodologías del Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL), en particular, la metodología AMS-III.AO “Small – scale methodology: Methane recovery through controlled anaerobic digestion”¹⁹. Esta metodología se utiliza para calcular cuántas emisiones de GEI se evitarían con el proyecto de biodigestión y generación eléctrica, en comparación con la gestión actual de los residuos, que corresponde a la disposición en monorellenos, vertederos o rellenos sanitarios, según el RETC (2020).

Para la aplicación de esta metodología, al igual que para el proyecto de biodigestión de Casablanca, se realizaron diversos supuestos con respecto a los parámetros fisicoquímicos de los residuos,

¹⁹ <https://cdm.unfccc.int/methodologies/DB/F5U41CTG7ENWK9RSSL5BV1LUPDG76W>

características de consumo energético de la planta, entre otros. Los parámetros más importantes se resumen en el Anexo 8.

Uno de los supuestos realizados puede causar una variación de más de un 50% en la estimación de la reducción de emisiones, por lo que es necesario destacarlo. Este supuesto está asociado al tipo de manejo que se les da a los residuos en los sitios de disposición final en el caso base. Debido a la falta de información sobre esta materia, se realizaron dos estimaciones. La primera y más optimista considera que los sitios de disposición final tienen un manejo anaeróbico con cubierta y compactación mecánica, resultando en una reducción de emisiones de 263.600 tCO₂e en un periodo de 20 años por el tratamiento de los residuos mediante biodigestión. La segunda considera un manejo semi-aeróbico, que no incluye compactación mecánica de los residuos, resultando en una reducción de emisiones de 149.502 tCO₂e en 20 años.

Con respecto a las emisiones asociadas al transporte de los residuos, se consideraron los principales generadores de acuerdo con el RETC, especificados en el Anexo 6, y se calcularon las distancias que deben recorrer hacia los sitios de disposición final en comparación al transporte hacia la planta de biodigestión que se localizaría cerca de Puerto Montt. Este cálculo arroja que existiría una disminución de 199.899 tCO₂e, dado que la planta de biodigestión estaría mucho más cerca de los generadores en la mayoría de los casos, implicando menos kilómetros recorridos por los camiones y menores emisiones.

Considerando el tratamiento de los residuos, la recuperación del biogás, producción eléctrica y el transporte de los residuos, la reducción de emisiones asociada a la implementación de este proyecto estaría entre 349.401 y 463.499 tCO₂e en 20 años.

- **Resumen**

Finalmente, se presenta un resumen de los principales parámetros para el proyecto propuesto.

Tabla 6-12: Perfil de proyecto de digestión anaeróbica – Región del Los Lagos.

Perfil	Valor
Capacidad de tratamiento (TPA)	50.753
Capacidad de tratamiento (ton/día)	139,0
Cantidad de residuos orgánicos a valorizar (TPA)	49.467
Biogás producido (m ³ /año)	4.008.337
Energía (MWh/año)	8.161
Potencia nominal (MW)	1,30
Cantidad de digestato producido (TPA)	8.940
Inversión estimada - rango mínimo (USD)	4.783.557
Inversión estimada - rango máximo (USD)	7.515.425
Costos operacionales y de mantención estimados (USD)	\$491.959
N° de empleos generados	28
Estimación de reducción de emisiones en 20 años – estimación pesimista (tCO ₂ e)	349.401
Estimación de reducción de emisiones en 20 años – estimación optimista (tCO ₂ e)	463.499

Fuente: Elaboración propia

6.3.2 Planta de reciclaje para residuos plásticos de acuicultura y mitilicultura

- **Residuos**

Dentro de los residuos inorgánicos de la Región de Los Lagos se identificó que los residuos plásticos provenientes de la acuicultura y mitilicultura tienen un gran potencial de valorización, en particular las boyas. Se estima que cada año se ingresan al mar 6.000 toneladas de boyas de polietileno soplado en

la región de Los Lagos (Wencosur, comunicación personal, octubre 2022), las cuales se renuevan entre 5 y 10 años después de su adquisición. De esta información se deduce que cada año quedan 6.000 toneladas de material disponible para reciclar, sumado a boyas que no se han reciclado de años anteriores y a plásticos de mangueras y cabos, entre otros productos, para los cuales no se cuenta con una cuantificación. De estas 6.000 TPA de boyas, se asume que sería posible recuperar y viable transportar (dado su alto volumen) solo un 20% de las boyas generadas al año, 1.200 TPA.

Para abordar el desafío de la valorización del plástico en la Región, ya existen al menos 5 empresas recicladoras de plásticos en la zona. Entre ellas la Procesadora de Plásticos Puelche (PPP), Mundo Sur, Greenspot, Resiter y Ecofibras. Por lo que existe la oportunidad de apoyar la ampliación y reconfiguración de una empresa existente para valorizar residuos provenientes de acuicultura y mitilicultura.

- **Descripción del proyecto**

También existe la posibilidad de la instalación de una nueva planta de reciclaje, que al igual que la planta desarrollada por la empresa Atando Cabos, pueda reciclar boyas mediante reciclaje mecánico. De esta manera se propone una planta de reciclaje que logre recibir 1.200 TPA de boyas. La planta contaría con los procesos de triturado, lavado, extrusión y granulación.

El producto final serían 1.020 TPA de pellet de polietileno²⁰ listo para incorporar al proceso de empresas que fabriquen productos terminados de baja exigencia mecánica (elaboración de jabs, pallets, mangueras, fosas sépticas, etc.). Se recomienda evaluar la posibilidad de incluir material virgen para elaboración de pellets de mayor calidad y así poder comercializarlo para elaborar productos que pueden resultar más atractivos para la industria como cajas para la construcción, elementos agrícolas y productos para la minería. Para esto sería necesario ampliar la capacidad extrusión y granulación con respecto a lo que se propone en este proyecto.

Se recomienda evaluar con detalle la logística de recolección y transporte de las boyas, dado que se ha identificado como una de las dificultades más grandes para su valorización, debido el alto volumen por boya.

- **CAPEX y OPEX**

Con respecto a las variables económicas, por falta de información, también se utiliza la referencia del estudio de InvestChile (InvestChile, 2021) para una planta peletizadora de LDPE de 749 TPA de capacidad. Realizando una proporción simple respecto a las capacidades de residuos, se estima un CAPEX cercano a \$3.100.000 USD, que incluye costos de infraestructura, máquinas e instalaciones menores, sin incluir terreno, y un OPEX de alrededor de \$213.000 de USD, que incluye mano de obra, costos fijos, electricidad, entre otros. Se recomienda revisar estos valores para incluir economías de escala.

El valor de CAPEX no incluye el costo del terreno, el cual deberá ser del tamaño suficiente para recibir y acopiar las boyas recibidas diariamente, teniendo en cuenta la tasa de procesamiento y picado del material. Dependiendo de la ubicación del terreno, este podría implicar un costo alto dado que se necesitaría un espacio mayor para el acopio que para otros tipos de residuos más compactos.

²⁰ Considerando una eficiencia de transformación del plástico a pellet de un 85% (Avilés, 2015) (Avilés, 2015).

- **Generación de empleos**

El proyecto propuesto supondría la generación de empleos en la zona. Para la estimación la cantidad de personal, nuevamente se utiliza la experiencia de la PPP. Realizando una proporción simple con respecto a la capacidad de tratamiento (que para el proyecto propuesto es cerca de la mitad de la capacidad de la planta de PPP), se asume que se necesitará un total de 11 personas sin incluir gerencia. En particular, 2 administrativos, 5 trabajadores para el proceso primario de selección, lavado y picado, y otras 4 personas más para las labores de pelletizado. El trabajo se organizaría en turnos, habiendo rotaciones de personal.

- **Ubicación**

La ubicación que se propone para la instalación de la planta para residuos plásticos corresponde a un área localizada al suroeste de Puerto Montt (Figura 6-7). De acuerdo con el Plan Regulador Comunal esta área corresponde a una zona industrial que permitiría recibir los residuos que se generan en numerosas empresas aledañas al sector. La principal ventaja de esta ubicación (Tabla 6-13), es su cercanía a la Ruta 5 Sur que facilita el transporte de los residuos hacia la planta, que es una de las principales barreras destacadas durante la entrevista con desarrolladores del rubro.



Figura 6-7: Propuesta de ubicación para el proyecto de valorización de plásticos en la Región de Los Lagos.
Fuente: Elaboración propia a partir de Google Earth

Tabla 6-13: Coordenadas geográficas de propuesta de ubicación – Región de Los Lagos.

Coordenadas de ubicación propuesta		
Vértices	Coordenadas	
	Sur	Oeste
V1	659479	5401104
V2	659930,1	5400939,5
V3	660317,4	5401671,5
V4	660110,9	5401767,6

Fuente: Elaboración propia

- **Estimación de reducción de emisiones**

Con respecto a la reducción de emisiones que el proyecto generaría, se utilizó la misma metodología que el proyecto de reciclaje de plásticos del Maule. Debido a que las boyas pueden ser de polietileno de alta, mediana y/o baja densidad, se tomó como supuesto que el 50% de las ingresadas a la planta serán de HDPE y el otro 50% serán de LDPE. Con esto se estimó que el proyecto evitaría la producción de 5.619 tCO₂e en 20 años.

- **Resumen**

Finalmente, se presenta un resumen de los principales parámetros para el proyecto propuesto.

Tabla 6-14: Perfil de proyecto para planta de reciclaje de plásticos – Región de Los Lagos.

Perfil	Valor
Capacidad de tratamiento (TPA)	1.200
Capacidad de tratamiento (ton/día)	3,3
Cantidad de residuos inorgánicos a valorizar (TPA)	1.200
Cantidad de pellets producidos (TPA)	1.020
Inversión estimada (USD)	\$3.100.000
Costos operacionales y de mantención estimados (USD)	\$213.480
N° de empleos generados	11
Estimación de reducción de emisiones en 20 años (tCO ₂ e)	5.619

Fuente: Elaboración propia

6.4 Resumen cartera de proyectos

La cartera de proyectos presentada anteriormente se resume en la tabla 6-15. Para los ítems en donde se realizaron dos estimaciones, se muestra un promedio de ambos valores.

Tabla 6-15: Resumen cartera de proyectos propuesta.

Perfil	Comuna de Casablanca		Región del Maule		Región de Los Lagos	
	Compostaje	Digestión anaeróbica	Compostaje	Reciclaje mecánico	Digestión anaeróbica	Reciclaje mecánico
Tipo de residuo	Escobajo, orujo, restos de alimentos	Purines y restos de alimentos	Residuos orgánicos de cultivos vegetales	Plásticos del rubro agrícola y ganadero	Lodos de industria animal, restos de tejidos	Boyas
Capacidad de tratamiento (TPA)	1.579	32.464	116.465	1.600	50.753	1.200
Capacidad de tratamiento (ton/día)	4,3	88,9	319	4,4	139	3,3
Cantidad de residuos a valorizar (TPA)	1.316	31.641	97.054	1.334	49.467	1.200
Cantidad de compost producido (TPA)	192	-	14.154	-	-	-
Biogás producido (m ³)	-	2.081.045	-	-	4.008.337	-
Energía (MWh/año)	-	4.235	-	-	8.161	-
Potencia nominal (MW)	-	0,7	-	-	1,30	-

Perfil	Comuna de Casablanca		Región del Maule		Región de Los Lagos	
Cantidad de digestato producido (TPA)	-	4.900	-	-	8.940	-
Cantidad de pellets producidos (TPA)	-	-	-	1.457	-	1.020
Inversión estimada (USD)	\$293.000	\$5.000.000	\$7.530.000	\$4.200.000	\$6.149.491 ²¹	\$3.100.000
Costos operacionales y de mantención estimados (USD)	\$47.000	\$400.000	\$351.000	\$284.706	\$491.959	\$213.000
N° de empleos generados	4	22	23 a 29	12	28	11
Estimación de reducción de emisiones en 20 años (tCO2e)	8.777	36.669	1.218.980	7.492	406.450 ²²	5.619

Fuente: Elaboración propia

Según las estimaciones, si se implementaran cada uno de los proyectos de la cartera propuesta se movilizaría una inversión de más de \$26.000.000 de USD, se generarían entre 100 y 106 empleos y se reducirían total de 1.683.987 tCO2 en 20 años. Lo anterior, mediante el tratamiento de un total de 204.061 TPA de residuos orgánicos e inorgánicos provenientes del sector industrial de la comuna de Casablanca, de la región del Maule y de la región de Los Lagos, de acuerdo a la capacidad agregada de las plantas.

Cabe destacar que las estimaciones y supuestos tomados en el desarrollo de esta cartera de proyectos presentan incertidumbre, la cual debe ser considerada al momento de la toma de decisiones. De esta manera, al utilizar la información presente en esta sección, se sugiere revisar las fuentes citadas.

²¹ Se considera un promedio de las dos referencias presentadas para el CAPEX.

²² Se considera un promedio de la estimación optimista y pesimista.

7. Barreras y oportunidades en el desarrollo de proyectos

Todo proyecto que incorpore elementos innovadores y que alteren la manera en que se realiza el trabajo diario tendrá como resultado un proceso de adaptación con ciertas dificultades para reconciliar los intereses de todas las partes involucradas, dando lugar a barreras en su implementación. Para analizar los obstáculos que podrían existir en la implementación de los proyectos propuestos, se levantó información a través de entrevistas a diversos actores relevantes dentro de cada industria involucrada en dichos proyectos, además de un análisis documental.

La información recolectada se categorizó en función de las barreras que se identificaron de manera general que podrían aplicar a todos los proyectos, barreras específicas de cada tipo de tratamiento de residuos y finalmente barreras de información del Registro de Emisiones y Transferencias de Contaminantes. De manera complementaria, en los casos que se pudieron identificar oportunidades, se incluyeron sugerencias sobre cómo se pueden superar estas barreras.

7.1 Barreras generales

- **Políticas públicas:** Una de las barreras que limitan la capacidad de diseñar políticas públicas de largo plazo es el periodo presidencial de cuatro años que tiene como consecuencia un retraso en el desarrollo de normativas que vayan acorde al avance del sector industrial. Un ejemplo de esto es el reglamento que establece condiciones sobre tratamiento y disposición de desechos provenientes de actividades de acuicultura que estaba pendiente desde 2010 y que fue aprobado recién el año 2021 por el Consejo de Ministros. Los lodos, hasta esa fecha, eran destinados a diferentes vertederos industriales de la zona sur y hoy, con esta nueva normativa, podrán ser usados en cultivos como fertilizantes y enriquecedores de suelos agrícola.
- **Instrumentos de gestión ambiental:** La tramitación de permisos sectoriales y la elaboración de Declaraciones de Impacto Ambiental (DIA) o Estudios de Impacto Ambiental (EIA) son procesos complejos y costosos. Contemplan periodos extensos de tiempo para su obtención y aprobación, lo que supone una barrera frente al desarrollo de nuevos proyectos.
- **Dificultades con las comunidades:** En general, se identifica cierto nivel de oposición por parte de la comunidad cercana hacia proyectos de valorización de residuos orgánicos. Esta oposición está motivada, principalmente, por la generación de olores y/o vectores debido a una deficiente operación de estos proyectos y los efectos negativos que dicha gestión puede traer para la salud de las personas.

Oportunidades: Los Acuerdos Voluntarios de Pre-inversión (AVP) ayudan a tener una aceptación de la comunidad incluso antes de la aprobación del SEIA. Son un aliciente de garantías para las partes, tanto para la empresa que logra un consenso sobre las condiciones que la facultan a instalarse en el territorio, como para la comunidad que le permite contar con la certeza de que el proyecto es de su entero conocimiento, aprobación, y que cumple con un estándar de sustentabilidad adecuado.

- **Disposición sobre valorización:** actualmente las tarifas de disposición de residuos en Chile son bajas porque no reflejan las externalidades e implicancias negativas, tanto sociales como ambientales, de un sitio de disposición final para la comunidad y el entorno. De esta forma, para un proyecto de valorización de residuos es difícil presentar tarifas de tratamiento competitivas que motiven a la industria a preferir este servicio. Adicionalmente, como las

tecnologías de valorización en el país no se encuentran extensamente desarrolladas, su costo de implementación dificulta que los proyectos de este tipo sean fácilmente rentables.

Oportunidades: el aumento e implementación de leyes, regulaciones y normativas orientadas a priorizar la valorización de residuos por sobre la disposición final debiera provocar el encarecimiento de los servicios de eliminación en el país. A su vez, esto podría provocar un aumento en el desarrollo de proyectos de valorización en el mercado y potencialmente disminuir los costos de implementación y/u operación en el territorio.

Tal como se mencionó en la sección 4.2, existe el Proyecto de Ley de Residuos Orgánicos que busca desincentivar la disposición final de residuos orgánicos mediante el desarrollo de instrumentos financieros que aumenten las tarifas de disposición y así se opte por su valorización.

7.2 Tratamiento de residuos

7.2.1 Compostaje

- **Olores y vectores:** Al ser un proceso que en general se realiza al aire libre, los olores molestos que se puedan generar pueden afectar directamente a la comunidad aledaña. La generación de olores molestos provenientes del proceso productivo de la elaboración de alimentos, productos cárnicos, vinos, conservación de frutas, legumbres y hortalizas, entre otros, se debe principalmente a un manejo inadecuado.

Oportunidades: Para evitar la generación de olores y vectores es clave tener un conocimiento técnico suficiente sobre las etapas de compostaje para poder controlar las condiciones fisicoquímicas del proceso. En general, este proceso es más eficiente si la materia orgánica es separada en su origen mediante una estrategia adecuada, evitando de este modo su contaminación, y obteniendo un flujo de entrada óptimo para obtener resultados con características que cumplan con los estándares necesarios para su uso y comercialización.

- **Mercado subdesarrollado:** Se identifica falta de desarrollo de mercado, falta de conocimiento de los beneficios del compost e incluso, falta de oferta de tecnología para la implementación de proyectos.

Oportunidades: Chile está adquiriendo nuevos sistemas como el de aireación forzada con 3 posibles proveedores. Se requieren incentivos económicos para desarrollar el mercado.

- **Baja demanda de compost:** Esta se debe principalmente a la falta de información sobre los beneficios que trae su aplicación para los cultivos y el medio ambiente.

Oportunidades: Se motiva la realización de campañas de concientización e informativas al sector agrícola para enseñar los beneficios de la aplicación del compost como fertilizante por sobre los fertilizantes sintéticos.

7.2.2 Digestión anaeróbica

- **Olores y vectores:** Existe aprehensión en el tratamiento de lodos de origen animal debido a su alto riesgo percibido por parte de la comunidad en la generación de olores y atracción de vectores. Dicha aprehensión surge, también, por el desconocimiento de esta tecnología.

Oportunidades: La ubicación de estas plantas debe proponerse lejana a las comunidades para evitar conflictos. Se debe instaurar un programa de educación hacia las comunidades para romper prejuicios y enseñar cómo se realiza un buen manejo para evitar estas condiciones molestas y poder cumplir con la norma.

- **Lodos de acuicultura:** Tratar lodos provenientes de acuicultura de agua salada es complejo, debido a que la sal es inhibidora de las bacterias encargadas de la digestión anaeróbica, por lo que es necesario mezclar ese residuo con otros no salinos.

Oportunidades: Según lo declarado por actores del rubro, no existe una estandarización de la proporción de residuos salinos en una mezcla para biodigestión, ya que depende de muchos otros factores de diseño y tecnología. Por lo que es necesario generar estudios en terreno para generar evidencia empírica de cómo tratar de mejor manera estos residuos.

- **Mercado para el digestato:** Una de las principales barreras detectadas a través de conversaciones sostenidas con desarrolladores de proyectos de biodigestión tiene relación con el bajo desarrollo del mercado para el digestato sólido y/o líquido. Esto implica que sea prácticamente imposible comercializar el digestato en la actualidad. Incluso, las autoridades consideran al digestato líquido como un residuo, con lo que los agricultores y desarrolladores peligran multas por la aplicación al suelo de este producto. El bajo desarrollo de este mercado tiene directa relación con la falta de normativa y desconocimiento.

Oportunidades: Esto se podría solucionar con el desarrollo de un Decreto Supremo que permitiera asegurar que el digestato cumple con las condiciones sanitarias y técnicas mínimas permitidas por los ministerios y así se genere mayor confiabilidad hacia el producto por parte de posibles compradores, convirtiendo al digestato en un producto competitivo.

- **Inversión:** La inversión inicial para empresas de tamaño mediano y grande es cuantiosa, especialmente para la tecnología de mezcla completa (CSTR). Se requiere de fondos complementarios y plazos lo suficientemente amplios, para asegurar el retorno de estos.

Oportunidades: Para demostrar la solidez del modelo de negocio es recomendable contar con preacuerdos de contrato de residuos o memorándums de entendimiento (MOU por sus siglas en inglés) entre generadores de residuos y el desarrollador de proyectos. Se ha identificado que en ocasiones constituye un requisito para poder optar a financiamiento para los proyectos de digestión anaeróbica, los cuales necesitan de un ingreso estable de residuos, en cuanto a cantidad y características físicas, químicas y biológicas.

7.2.3 Gestión de plásticos

- **Productos:** Una de las barreras más grandes para la industria del reciclaje de plásticos es la generación de demanda de pellets o productos reciclados. Además, existe más capacidad

instalada de molienda, lavado y pelletización de la que se está utilizando (ASIPLA, 2019), por lo que los principales desafíos internos para las empresas se encuentran en desarrollar un modelo de negocio rentable.

Oportunidades: En la operación de las plantas de reciclaje, es posible incorporar la práctica de ir variando las cantidades y tipos de resinas recibidas de acuerdo con la demanda desde los compradores. Esto daría más certeza de que los pellets se comercializarán y robustecería el modelo de negocios.

Otra opción para abordar este desafío es complementar la venta del plástico reciclado con alguna herramienta de marketing que logre comunicar el uso de este material en las operaciones o productos de la empresa compradora. Puede ser un sello, una certificación o algo similar.

- **Calidad:** Los productos reciclados a menudo son rechazados por tener calidades más bajas que los vírgenes, menores resistencias o por prejuicios culturales. Y muchas veces los plásticos vírgenes son mucho menos costosos que los reciclados, por lo que los hace menos competitivos.

Oportunidades: Realizar estudios para entender qué productos reciclados son más aceptados, qué incentivos económicos podrían crearse para potenciar la valorización del plástico, y levantar iniciativas públicas para impulsar no solo la segregación, recolección y reciclaje de plásticos, sino que asegurar que el destino final de los pellets sea la elaboración de productos que sean efectivamente consumidos.

- **Transporte:** La logística de separación y recolección de los materiales plásticos puede ser más compleja de lo normal por la baja densidad y se vuelve más difícil si los generadores están atomizados.

Oportunidades: Establecer en los contratos con las empresas que en el retiro de los materiales deban venir separados y reducidos en volumen, antes de ser transportados. Otra alternativa es plantear un sistema de cobro de retiro que incentive la separación. Además, es clave generar contratos con generadores de residuos que se encuentren en una misma zona geográfica en primera instancia para reducir costos y emisiones de gases de efecto invernadero. Es muy importante lograr una sinergia entre estos grupos de empresas para poder valorizar internamente el plástico reciclado. Esto implica un cambio cultural a nivel industrial en el país, tal que los productos fabricados con plástico reciclado logren ser comercializados y reemplazar el consumo de plástico virgen. Desde esta perspectiva, lo más valioso sería generar una demanda de plástico reciclado en la región o, en su defecto, en algún otro lugar del país. De no existir suficiente demanda nacional, se exportará el material molido o en forma de pellet para ser valorizado en el extranjero.

- **Contaminación:** Una de las principales barreras es la contaminación de los plásticos que hace que el pellet final tenga menor calidad o incluso se deban descartar porque es inviable procesarlos.

Oportunidades: Acuerdo con los generadores de un porcentaje máximo de suciedad en los plásticos para ser retirados y reciclados. De igual forma el proceso debe tener integrada una etapa de limpieza que permita generar un pellet de mejor calidad.

Oportunidades para el desarrollo del rubro: En el 2021 la Asociación Gremial de Industriales del Plástico (ASIPLA) y la Agencia de Sustentabilidad de Cambio Climático firmaron un APL con el objetivo desplazar el uso de resinas vírgenes y reemplazarlas por resinas recicladas. En particular, se busca la implementación de estándares de calidad y trazabilidad, la difusión de los beneficios de la utilización de plástico reciclado y el desarrollo de iniciativas y nuevas aplicaciones para sectores como la agricultura. Las empresas que se adhieran a este APL se comprometerán a incorporar al menos un 20% de resina reciclada en líneas que utilizan 100% de material virgen. Este precedente implica un esfuerzo por la superación de las brechas mencionadas en los puntos anteriores, por lo que es una oportunidad para el desarrollo de la economía circular en el sector y el potenciamiento de sinergias entre empresas.

7.3 Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes (RETC)

- **Reporte:** Según el reglamento del RETC, se establece que las empresas que generen más de 12 TPA de residuos están obligados a declarar, sin embargo, los datos reportados son bajo declaración jurada de la empresa, sin ser sometidas a fiscalización. De esta manera, y según lo comentado por entrevistas, existe un porcentaje considerable de empresas que reportan cantidades incorrectas de residuos y otras que simplemente no lo hacen. Esta situación no permite realizar un análisis adecuado que permita una toma de decisión precisa al momento de la inversión de proyectos. Un ejemplo de esto son los purines lecheros en Casablanca, que según entrevistas se identifican como una cantidad importante de residuos que actualmente se disponen en los mismos predios, sin embargo, a partir del RETC no fue posible obtener esta información, debido a que no estaba registrada. Otro ejemplo son los residuos de la construcción, que, según lo mencionado en entrevistas, la mayor parte no está declarado. Se releva la necesidad de robustecer la información que se declara en RETC. Al no existir fiscalización suficiente, la motivación por tener una buena imagen puede causar que la información reportada por las empresas no refleje la realidad del manejo de residuos.

Oportunidades: Deberían generarse mecanismos de auditoría para la fiscalización de la veracidad de los datos entregados al RETC. Esto implicaría un costo importante para el estado, pero el primer paso para poder generar soluciones de valorización de residuos es la cuantificación correcta de los mismos.

Para el caso de los generadores de menos de 12 TPA, se debería contar con un sistema por rubro que permita recopilar la información. Este puede comenzar con un registro voluntario, el cual puede venir acompañado con incentivos como alguna certificación o sello de buenas prácticas, otorgado por el Ministerio, por ejemplo.

- **Categorías:** El sistema de clasificación de residuos del RETC corresponde a la Lista Europea de Residuos (LER), la cual incluye códigos que ordenan según tipo de actividad del productor del residuo. Una problemática identificada es que las empresas pueden declarar un mismo residuo en distintas categorías LER lo que hace difícil la interpretación de los datos. Además, existen categorías muy generales bajo las cuales se puede declarar numerosos tipos de residuos, que posteriormente impide la interpretación de datos diferenciada. A modo de ejemplo, varios rubros como el ganadero, acuícola, de elaboración y conservación de frutas, legumbres y hortalizas, entre otros, declaran parte de sus residuos bajo la categoría “Mezclas

de residuos municipales” (código LER 20 03 01), dentro de la cual podrían existir residuos químicos, comerciales, domésticos, industriales, etc. (Asegre, s.f.). Estos residuos podrían ser tanto orgánicos como inorgánicos y, en conjunto, suman más de 25.000 TPA para los tres territorios estudiados, lo cual es una cantidad importante que podría considerarse para ser valorizada si es que se pudiese identificar la composición específica de la mezcla.

Oportunidades: Se propone mejorar la información reportada por cada sector industrial con tal de entregar una mayor desagregación de datos para la cantidad y calidad de ciertos residuos. Un benchmark interesante es el de la iniciativa del Instituto Tecnológico del Salmón (Intesal), el cual está desarrollando una ventanilla de reporte voluntaria de gestión de residuos para el sector. Este trabajo cuenta con mesas de trabajo que integraran actores de un mismo rubro, que permitirá generar acuerdos para unificar la declaración de los tipos de residuos frecuentes para el rubro. Estos acuerdos también se podrían generar en el marco de los Acuerdos de Producción Limpia.

A partir de estas mismas mesas de trabajo, se podrían proponer modificaciones para los códigos LER o incluir nuevas categorías que representaran mejor los tipos de residuos para los rubros. Se deberían incluir también los residuos provenientes de la construcción que actualmente no están representados en el RETC y que surgen como un residuo problemático debido a su volumen y características específicas.

- **Plataforma:** Se ha identificado mediante las entrevistas, las dificultades al ingresar los datos a la Ventanilla Única. La plataforma se considera como poco amigable, desincentivando el ingreso correcto de los datos.

Oportunidades: Creación de un layout más amistoso con el usuario y realizar encuestas con generadores de residuos para conocer oportunidades de mejora. Generación de manuales simples y cortos para la utilización de la Ventanilla Única y continuar impartiendo capacitaciones. Estas podrían ser de carácter obligatorio para los generadores de residuos.

- **Ubicaciones geográficas:** Las coordenadas geográficas declaradas en el año 2020 presentan un margen de error superior al 30%, arrojando sitios de generación o disposición en la mitad del océano o cordillera.

Oportunidades: Es necesaria la verificación de la ubicación geográfica de cada generador que reporta al RETC.

8. Desarrollo de propuesta conceptual con próximos pasos a seguir

En esta sección se presenta información que será de utilidad para una posible implementación de los proyectos propuestos en la sección 6. Primero, se presentan posibles modelos de negocios para plantas de compostaje, digestión anaeróbica y reciclaje de plástico, entregando valores de venta de los productos para tener una noción sobre los ingresos que podrían generarse. Segundo, se presentan los actores clave para estos tipos de proyectos, junto con una definición. Tercero, se incluye una sección de posibles fuentes de financiamiento que pueden aplicar, y cuarto, se discute sobre posibles sinergias industriales que se pueden generar para potenciar el desarrollo de proyectos en el marco de la economía circular.

8.1 Identificación de posibles modelos de negocio

En las siguientes subsecciones se describen los siguientes modelos de negocio para los diferentes tipos de proyectos que componen la cartera de proyectos de esta consultoría.

8.1.1 Modelo de negocios para un proyecto de compostaje

A continuación, se presenta un esquema simplificado con el modelo de negocio esperado de una planta de compostaje.

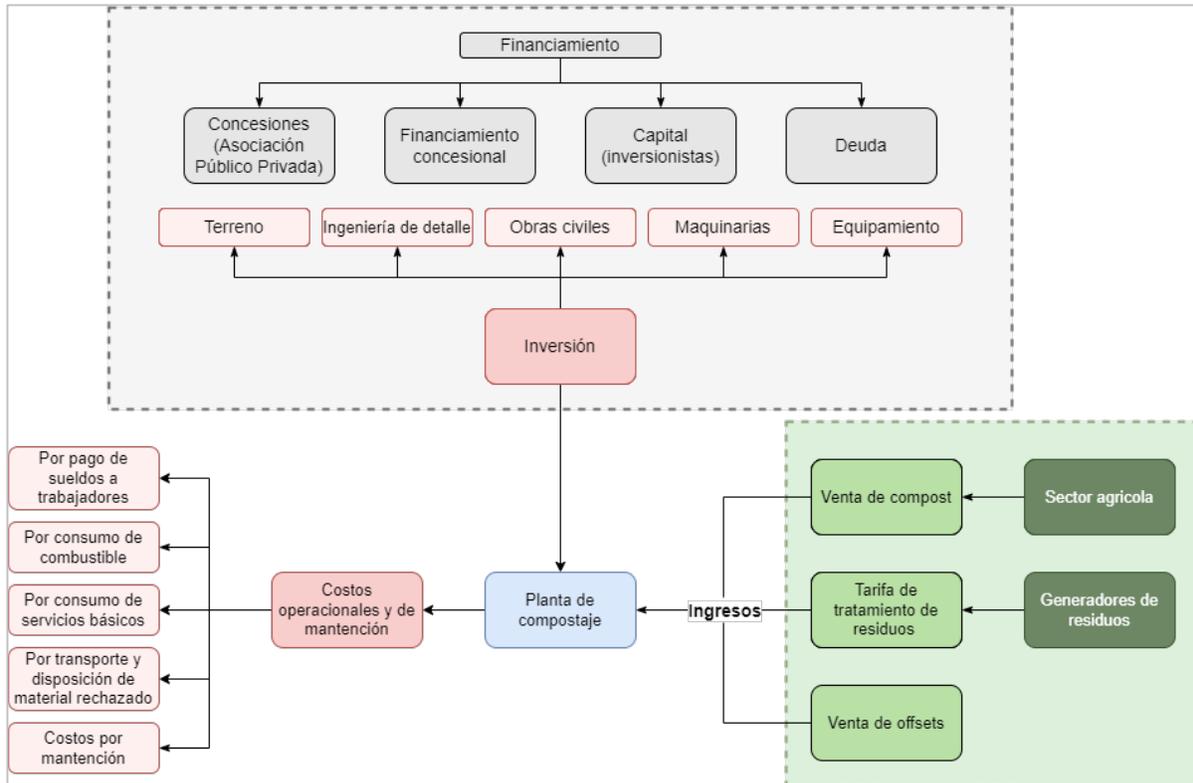


Figura 8-1: Esquema del modelo de negocio de una planta de compostaje.

Fuente: Elaboración propia

Los costos de inversión están dados principalmente por la adquisición del terreno, los estudios de ingeniería de detalle, obras civiles, y la compra de maquinarias y equipamiento. Es importante mencionar que estimar el monto de inversión destinado a la adquisición del terreno puede ser un desafío debido a que este ítem depende fuertemente de su ubicación, tipo de uso de suelo y tamaño.

Una alternativa para disminuir la inversión necesaria y la incertidumbre mencionada es el desarrollo de una Asociación Público-Privada entre el o los desarrolladores del proyecto y la Municipalidad donde se emplaza el proyecto. De esta forma, se espera que la Municipalidad ponga a disposición un terreno para la implementación del proyecto con la condición de que los residuos municipales, en este caso orgánicos, puedan ser tratados sin costo para ellos en la planta de compostaje.

De esta forma, ambas partes obtienen beneficios del acuerdo. Por un lado, el o los desarrolladores no deberán invertir en la adquisición del terreno y podrán tener un flujo de materia prima mensual para el funcionamiento de la planta. Mientras que, por otro lado, la Municipalidad tendrá la posibilidad de disminuir la cantidad de residuos dispuestos en sitios de disposición final y realizar la valorización de los residuos orgánicos generados por sus habitantes. Es importante señalar que, si este es el caso, la

Municipalidad se deberá comprometer a entregar los residuos orgánicos sin presencia de residuos inorgánicos, lo que requerirá del desarrollo de campañas de sensibilización y capacitación a la población para la implementación de un sistema de recolección diferenciada en origen.

Esta práctica puede ser interesante en especial en el proyecto de Casablanca, debido a que esta planta tiene una capacidad pequeña (comparada con el proyecto de Puerto Varas) y, por lo tanto, asegurar un flujo de materia prima mensual puede ser clave para la rentabilidad del proyecto.

Por otro lado, los demás ítems de inversión pueden ser financiados por fondos internacionales y/o nacionales, deuda comercial mediante la obtención de créditos en entidades financieras y el capital de los inversionistas o de la entidad desarrolladora del proyecto. En la sección 8.3 se presentan opciones de financiamiento internacional y nacional, entre otros.

Respecto a los costos operacionales y de mantención de los proyectos de compostaje a gran escala, estos están dados principalmente por el pago de sueldos a los y las trabajadoras, el consumo de combustible de las maquinarias, el consumo de servicios básicos como agua y electricidad para el funcionamiento de las instalaciones operacionales y administrativas, el transporte de los residuos rechazados, es decir, aquellos residuos inorgánicos que estaban presentes en los residuos orgánicos al momento de compostar y que se separan en el proceso de recepción o bien en el tamizaje del compost producido, y los costos de mantención de las maquinarias y equipos.

Otros costos que pueden aparecer puede ser el servicio de marketing para la venta del producto terminado que considere el etiquetado y empaquetado para la venta al por mayor y la difusión del producto.

Las posibles fuentes de ingresos identificadas para una planta de compostaje son por la venta de compost como fertilizante orgánico y el cobro por tarifa de tratamiento de residuos orgánicos industriales en la instalación. Para la venta de compost se puede considerar un escenario conservador cuyo precio de venta por tonelada de compost sería de \$43 USD correspondiente al precio unitario neto por la compra a granel, y otro escenario en el que su valor de venta por tonelada es de \$105 USD.

Mientras que para la tarifa de tratamiento se tiene que considerar que esta debe competir con la tarifa que actualmente pagan los generadores para disponer sus residuos, por lo que el valor de la tarifa a cobrar debería ser menor o igual a la tarifa por disposición. Esto podría cambiar en función del interés de los generadores en tener una gestión integral de sus residuos orgánicos y/o la creación de exigencias regulatorias o normativas relacionadas a su tratamiento. Por lo que como supuesto conservador se asume que la tarifa por tratamiento en planta de compostaje es igual a la tarifa cobrada por disponer en el sitio de disposición final. Debido a la falta de disponibilidad de información, se consideran las tarifas de disposición de residuos sólidos domiciliarios y asimilables levantadas en el estudio de SUBDERE (2018), que presenta una tarifa de disposición por tonelada de \$5,37 USD para Casablanca y \$5,8 USD para Talca.

Dicho todo lo anterior, se presenta en la siguiente tabla el resumen de los principales costos e ingresos de las plantas de compostaje a gran escala de la cartera de proyectos.

Tabla 8-1: Principales costos e ingresos de las plantas de compostaje de la cartera de proyectos.

Parámetro	Proyecto de Casablanca	Proyecto Región del Maule
CAPEX (sin terreno) (USD)	\$293.000	\$7.532.736
OPEX (USD)	\$46.755	\$350.798

Parámetro	Proyecto de Casablanca	Proyecto Región del Maule
Ingreso conservador (USD)	\$15.313	\$1.171.042
Payback conservador (años)	19	6
Ingreso realista (USD)	\$27.269	\$2.052.798
Payback realista (años)	11	4

Fuente: Elaboración propia

Solo queda mencionar que para el cálculo de ingresos se asumió que la planta trataría al año la cantidad de residuos orgánicos estimados en el análisis y no la capacidad de diseño, subestimando su potencial de tratamiento anual, lo que podría aumentar los ingresos. A su vez, se debe considerar que también se está asumiendo que se está comercializando todo el compost generado lo cual en la práctica es difícil de conseguir. Finalmente, es necesario considerar que los ingresos calculados para un escenario conservador y realista son excluyentes por lo que no deben sumarse.

En la siguiente sección 8.2 se presentan los actores claves de este modelo de negocio y los roles que deben cumplir cada uno para que este proyecto pueda operar de manera óptima.

8.1.2 Modelo de negocios para un proyecto de digestión anaeróbica

Al igual que para el proyecto anterior, se presenta un esquema simplificado con el modelo de negocio esperado de una planta de digestión anaeróbica.

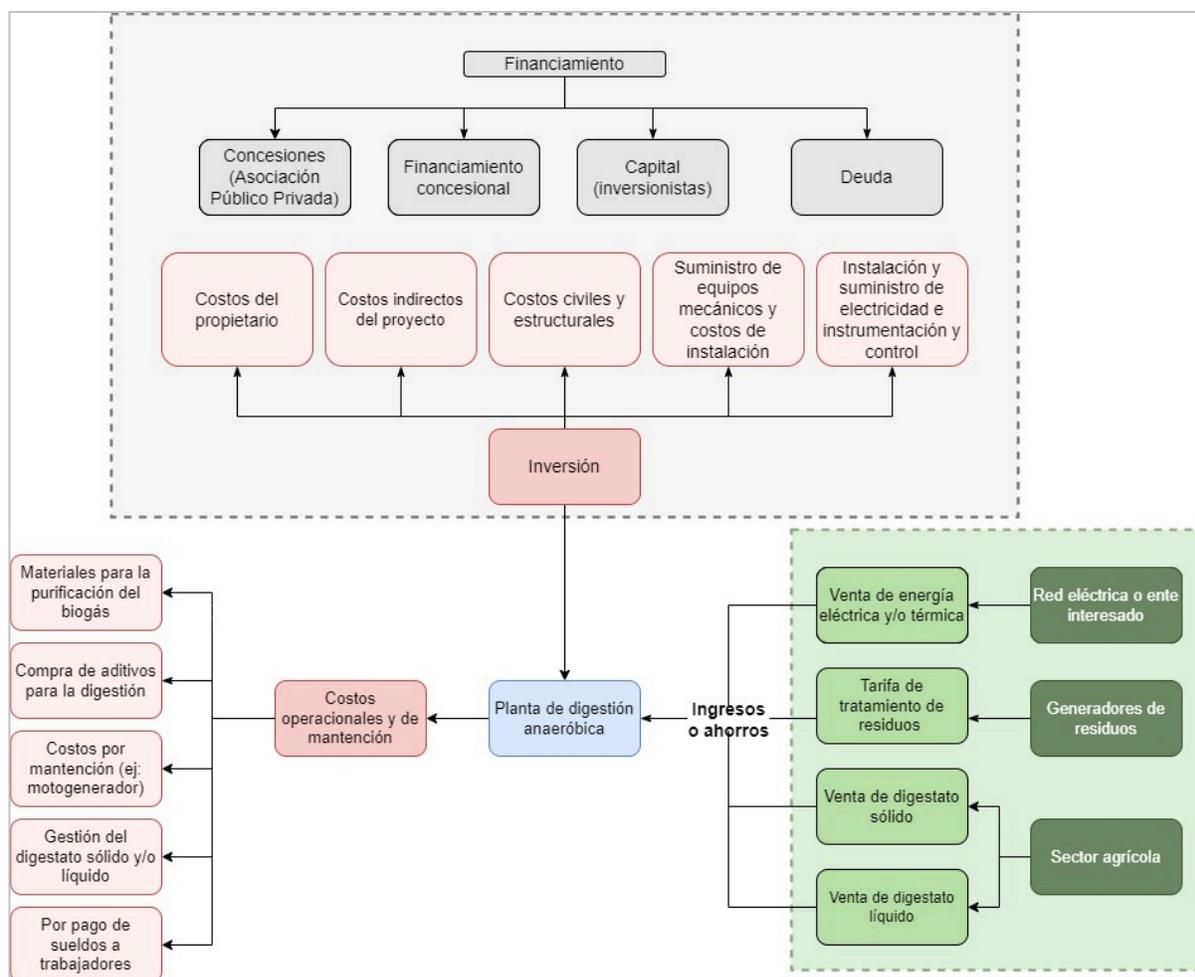


Figura 8-2: Esquema del modelo de negocio de una planta de digestión anaeróbica.

Fuente: Elaboración propia

La inversión está dada principalmente por los costos de propietario (7%), los costos indirectos del proyecto (4%), los costos civiles y estructurales (19%), suministros de equipos mecánicos y sus costos de instalación (63%), y la instalación y suministro de electricidad de instrumentación y control (7%) (Joint Research Centre, Weidner, Jakubcionis, & Vallei, 2014).

Al igual que el caso anterior, una alternativa para disminuir la inversión necesaria es el desarrollo de una Asociación Público-Privada entre el o los desarrolladores del proyecto y la Municipalidad donde se emplaza el proyecto. Se propone como opción un acuerdo donde la Municipalidad facilita el terreno a utilizar y el ente privado construye y opera el proyecto. A cambio, la Municipalidad podría tratar sus residuos orgánicos municipales en la planta de digestión anaeróbica de forma gratuita.

Sin embargo, debido a que la digestión anaeróbica es un proceso que requiere características particulares en la materia prima para la operación óptima de la planta, es importante evaluar si los residuos orgánicos municipales cumplen con las condiciones para no afectar la calidad y eficiencia de los procesos de descomposición anaeróbica dentro del o los digestores.

En la misma línea, si se evalúa que estos residuos orgánicos no afectan el proceso, la Municipalidad se deberá comprometer a entregar los residuos orgánicos de su territorio sin presencia de residuos inorgánicos para lo cual será necesario el desarrollo de campañas de sensibilización y capacitación a la población para la implementación de un sistema de recolección diferenciada en origen.

Por otro lado, los demás ítems de inversión pueden ser financiados por fondos internacionales y/o nacionales, deuda comercial mediante la obtención de créditos en entidades financieras y el capital de los inversionistas o de la entidad desarrolladora del proyecto. En la sección 8.3 se presentan opciones de financiamiento internacional y nacional, entre otros.

Respecto a los costos operacionales y de mantención de los proyectos de digestión anaeróbica, según conversaciones con desarrolladores de este tipo de proyectos, se tiene que los principales costos son por la compra de carbón activado para la purificación del biogás generado, la compra de aditivos para el proceso de digestión anaeróbica, la mantención del motogenerador y la gestión del digestato sólido y líquido.

Tal como ya se mencionó, es importante considerar que actualmente tanto el digestato sólido como líquido están siendo un problema para los desarrolladores de este tipo de proyectos debido a que la vigente regulación y mercado no propician el aprovechamiento de estos subproductos para su aplicación como fertilizantes. Por lo que, los desarrolladores deben contemplar el transporte de estos subproductos para su posterior disposición en sitios habilitados.

Respecto a las posibles fuentes de ingresos del proyecto se identifica la venta de electricidad y/o calor mediante la utilización del biogás, el cobro de tarifa por tratamiento de residuos orgánicos y, en casos excepcionales, la venta de digestato tanto sólido como líquido. A pesar de que según los desarrolladores la venta de este último subproducto ocurre de forma esporádica, se espera que el interés por este tipo de fertilizante aumente con el tiempo debido a la necesidad de la industria y/o la implementación de normativa enfocada en potenciar su aplicación.

Sobre los precios de venta de los subproductos de interés, se estima el precio de venta de electricidad por MWh²³ en \$52,38 USD para Casablanca (tomando de referencia a Quillota) y de \$41,47 USD para el proyecto de la Región de Los Lagos (con Puerto Montt como referencia) (Ministerio del Interior y Seguridad Pública, 2022).

Para la tarifa de tratamiento de residuos orgánicos se utilizará la misma lógica y fuente (SUBDERE, 2018) que para la planta de compostaje, por lo que se asumirá que la tarifa por tratar en planta será igual a la tarifa por disposición de la comuna en la cual se emplazaría el proyecto. De esta forma, el cobro por tratamiento de residuos para el proyecto de digestión anaeróbica de Casablanca será de \$ 5,37 USD y para el proyecto de la Región de Los Lagos sería de \$ 7,16 USD (Puerto Montt).

Finalmente, debido a la falta de información local, se realiza una revisión bibliográfica internacional de la cual se obtiene un precio de venta del digestato sólido y líquido de \$10,38 USD y \$4,29 USD por tonelada, respectivamente (Jurgutis, Šlepetienė, Šlepetys, & Cesevičienė, 2021).

Dicho todo lo anterior, se presenta en la siguiente tabla el resumen de los principales costos e ingresos de las plantas de digestión anaeróbica de la cartera de proyectos.

Tabla 8-2: Principales costos e ingresos de las plantas de digestión anaeróbica de la cartera de proyectos.

Parámetro	Proyecto de Casablanca	Proyecto Región de Los Lagos
CAPEX mínimo (USD)	\$5.000.000	\$4.783.557
CAPEX máximo (USD)		\$7.515.425

²³ Tomando como referencia los precios estabilizados promedio para medios de generación de pequeña escala, que corresponden a plantas de una potencia menor a 9 MW.

Parámetro	Proyecto de Casablanca	Proyecto Región de Los Lagos
OPEX (USD)	\$400.000	\$491.959
Ingresos ²² (USD)	\$415.755	\$736.400
Payback mínimo (años)	12	6
Payback máximo (años)		10

Fuente: Elaboración propia

De igual forma que para el caso anterior, se asumió para el cálculo de ingresos que la planta trataría al año la cantidad de residuos orgánicos estimados en el análisis y no la cantidad correspondiente a la capacidad de diseño, subestimando su potencial de tratamiento anual. Del mismo modo, se debe considerar que se está asumiendo que la totalidad de los subproductos son comercializados al precio de venta descrito, lo que en la práctica puede no ocurrir.

En la siguiente sección (Sección 8.2) se presentan los actores claves de este modelo de negocio y los roles que deben cumplir cada uno para que este proyecto pueda operar de manera óptima.

8.1.3 Modelo de negocio para una planta de reciclaje de plásticos

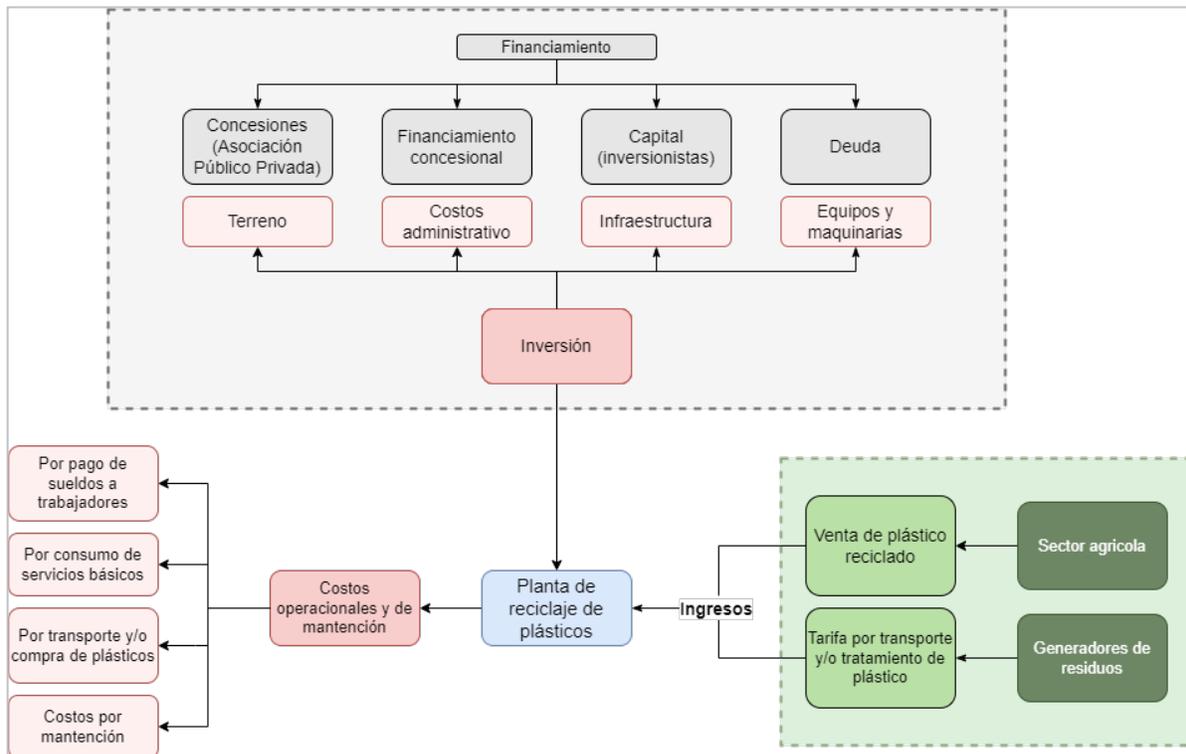


Figura 8-3: Esquema del modelo de negocio de una planta de reciclaje de plástico.

Fuente: Elaboración propia

La inversión incluye los costos por adquisición del terreno, los costos administrativos, la infraestructura y la compra de equipos para el reciclaje del plástico. Como los casos anteriores, se presenta como alternativa la formación de una Asociación Público-Privada en la que la Municipalidad donde se emplazaría el proyecto, ponga a disposición un terreno para que los desarrolladores construyan y operen el proyecto.

Se podría evaluar la posibilidad de que los plásticos generados en la comuna sean tratados en la planta de reciclaje sin costo para la Municipalidad, sin embargo, para ello sería necesario considerar la calidad de estos y el efecto que podría tener su incorporación en el producto final producido. En el caso de que, si se puedan tratar, al igual que los proyectos anteriores, la Municipalidad se debe comprometer a entregar los residuos con cierto grado de limpieza para que su tratamiento no perjudique o retrase la operación de la planta.

Los otros ítems de inversión pueden ser financiados por fondos internacionales y/o nacionales, deuda comercial mediante la obtención de créditos en entidades financieras y/o el capital de los desarrolladores del proyecto. En la sección 8.3 se presentan opciones de financiamiento internacional y nacional, entre otros.

En cuanto a los costos operacionales y de mantención de este tipo de proyectos de reciclaje de plásticos se destacan los costos por pago de sueldos a trabajadores, por consumo de servicios básicos, por transporte y/o compra de residuos, y por mantención. Es importante mencionar que la obtención de la materia prima para operar la planta puede ser de diferentes formas, la más común es cuando las plantas buscan a los generadores y les compran los residuos, otra situación es cuando los plásticos son comprados a recolectores los cuales se encargan de limpiar y entregar la materia prima en mejores condiciones, otro caso es cuando los generadores pagan por “deshacerse” de sus residuos plásticos y otra cuando estos los entregan para reciclar sin ningún costo para el operador de la planta. Por simplicidad, en la estimación de los costos, no se considera la compra y transporte de los residuos a tratar.

Sobre las principales fuentes de ingresos identificadas para este tipo de proyecto, se tiene la venta de pellets y, en algunos casos, ingresos por el cobro de tarifa de tratamiento de los residuos en la planta. Para la venta de plástico reciclado se asume una proporción de su composición de 50% HDPE y 50% LDPE, con un precio de venta por tonelada de plástico de \$754,4 USD y \$728,3 USD para el 2020, respectivamente (InvestChile, 2021). Estos valores se utilizan para calcular un valor referencial de los ingresos, sin embargo, se debe tener en cuenta que estos precios de venta fluctúan mucho y la demanda también. Por otro lado, para el cálculo de ingresos se asume que solo el 20% de los residuos tratados estuvieron sujetos a pagar la tarifa de tratamiento.

Para la tarifa de tratamiento de residuos plásticos se utilizará la misma lógica y referencia que para los proyectos anteriores, para eso se asumirá que la tarifa por tratar en planta será igual a la tarifa por disposición de la comuna en la cual se emplazaría el proyecto. Así, el cobro por tratamiento por tonelada de residuos para el proyecto de la Región del Maule será de \$ 5,8 USD (Talca) y para el proyecto de la Región de Los Lagos sería de \$ 7,16 USD (Puerto Montt) (Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo, 2018).

Finalmente, se presenta en la siguiente tabla el resumen de los principales costos e ingresos para los proyectos de reciclaje de plástico de la cartera de proyectos.

Tabla 8-3: Principales costos e ingresos de las plantas de reciclaje de plásticos de la cartera de proyectos.

Parámetro	Proyecto de la Región del Maule	Proyecto Región de Los Lagos
CAPEX (sin terreno) (USD)	\$4.200.000	\$3.100.000
OPEX (USD)	\$284.706	\$213.000
Ingresos (USD)	\$1.083.985	\$816.516

Parámetro	Proyecto de la Región del Maule	Proyecto Región de Los Lagos
Payback (años)	3,8	3,8

Fuente: Elaboración propia

De igual forma que para el caso anterior, se asumió para el cálculo de ingresos que la planta trataría al año la cantidad de residuos orgánicos estimados en el análisis y no la cantidad correspondiente a la capacidad de diseño, subestimando su potencial de tratamiento anual.

Con respecto a los modelos de negocios para todos los tipos de proyectos, se recomienda evaluar la venta de créditos de carbono como una fuente de ingresos adicional que podría aumentar la viabilidad económica. Como referencia, es posible comercializar estos créditos de carbono en mercados voluntarios internacionales, en donde el precio fluctúa entre 0,45 y 50 USD por tCO₂e reducida, dependiendo de la tipología de proyecto, entre otros factores. En esta línea, se releva la influencia que pueden tener los esfuerzos nacionales e internacionales por reducir las emisiones de GEI. En particular, los 130 países adheridos al Global Methane Pledge se comprometieron a realizar acciones voluntarias para la reducción global de metano, lo que se espera que potencie el mercado de carbono y aumente la demanda de créditos provenientes de todo tipo de proyectos.

8.2 Identificación de los actores clave

A continuación, se muestran los actores clave para cada tipo de proyecto, roles que deben cumplir cada uno para que este proyecto pueda operar de manera óptima. Se presentan esquemas, en donde los actores en los recuadros grises se relacionan con la inversión de los proyectos, mientras que en los recuadros verdes y rojos se muestran los actores relacionados con los ingresos y costos, respectivamente. En el caso de los recuadros naranjos, pueden estar relacionados con los costos o ingresos dependiendo del caso.

8.2.1 Proyectos de plantas de compostaje

En la siguiente se muestra el esquema e interacción entre los diferentes actores clave para la correcta implementación y desarrollo de una planta de compostaje.

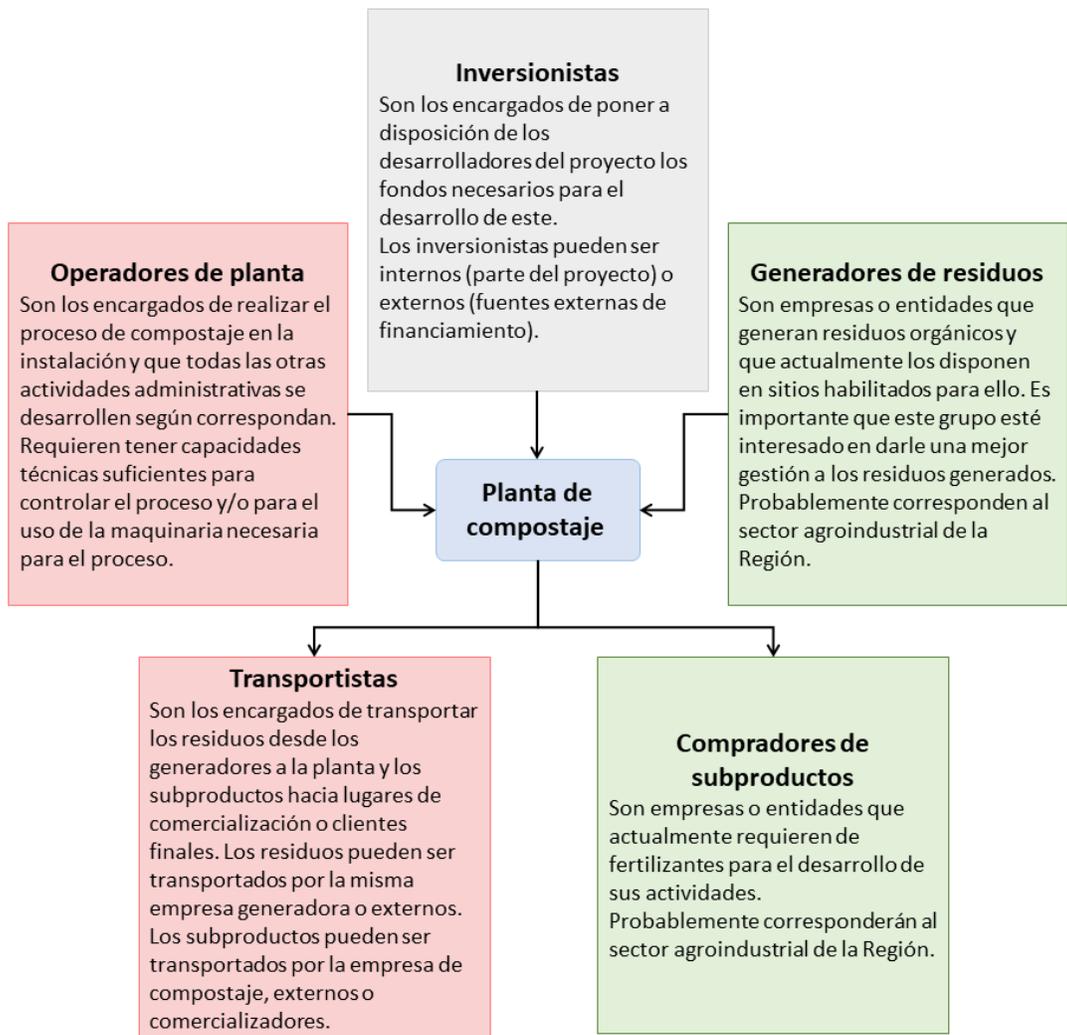


Figura 8-4: Actores clave de una planta de compostaje.

Fuente: Elaboración propia

Es importante notar que los generadores de residuos al entregar la materia prima necesaria para la operación de la planta son los que pagan por el servicio de tratamiento de sus residuos en la instalación.

8.2.2 Proyectos de plantas de digestión anaeróbica

En la siguiente se muestra el esquema e interacción entre los diferentes actores clave para la correcta implementación y desarrollo de una planta de gestión anaeróbica.

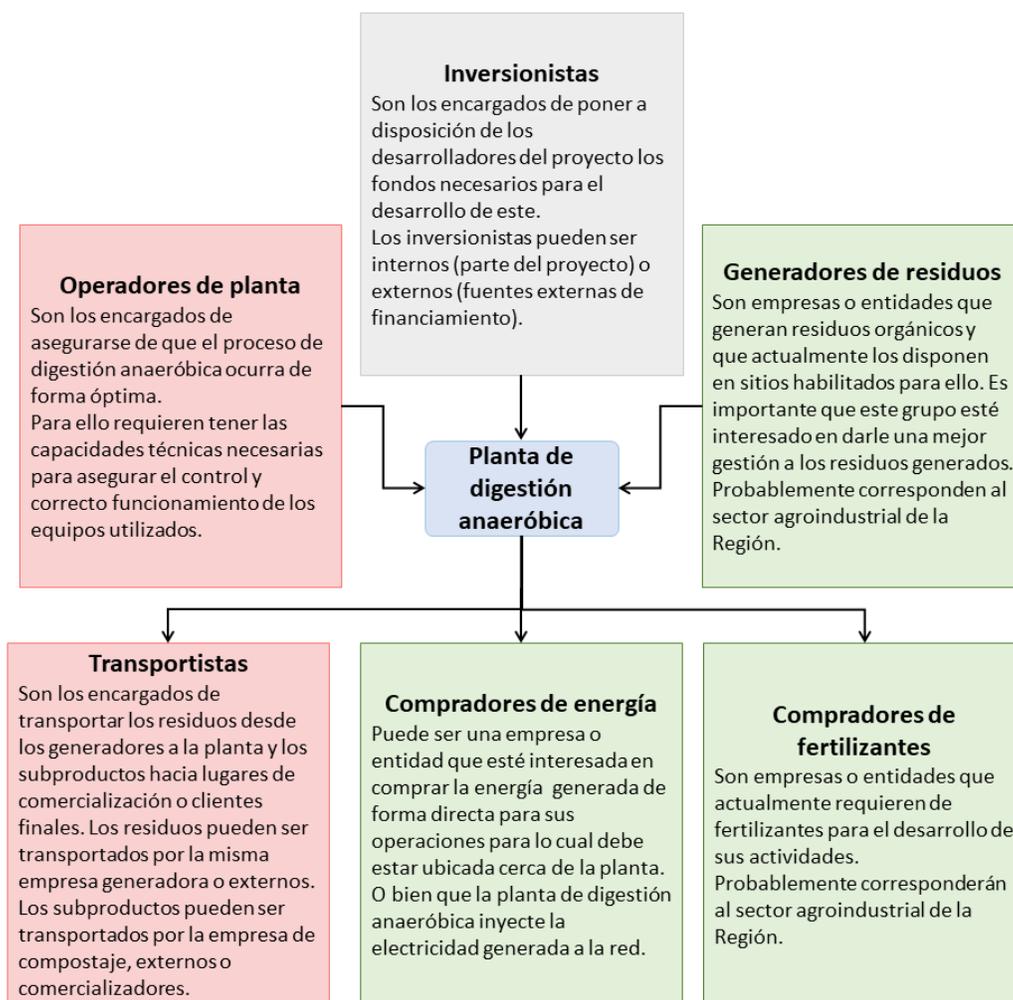


Figura 8-5: Actores clave de una planta de digestión anaeróbica.

Fuente: Elaboración propia

Al igual que el caso anterior, es importante notar que los generadores de residuos son quienes entregan la materia prima para el funcionamiento de la planta y, a su vez, permiten percibir ingresos por cobro de tarifa de tratamiento.

8.2.3 Proyectos de plantas de reciclaje de plásticos

En la siguiente se muestra el esquema e interacción entre los diferentes actores clave para la correcta implementación y desarrollo de una planta de reciclaje de plásticos.

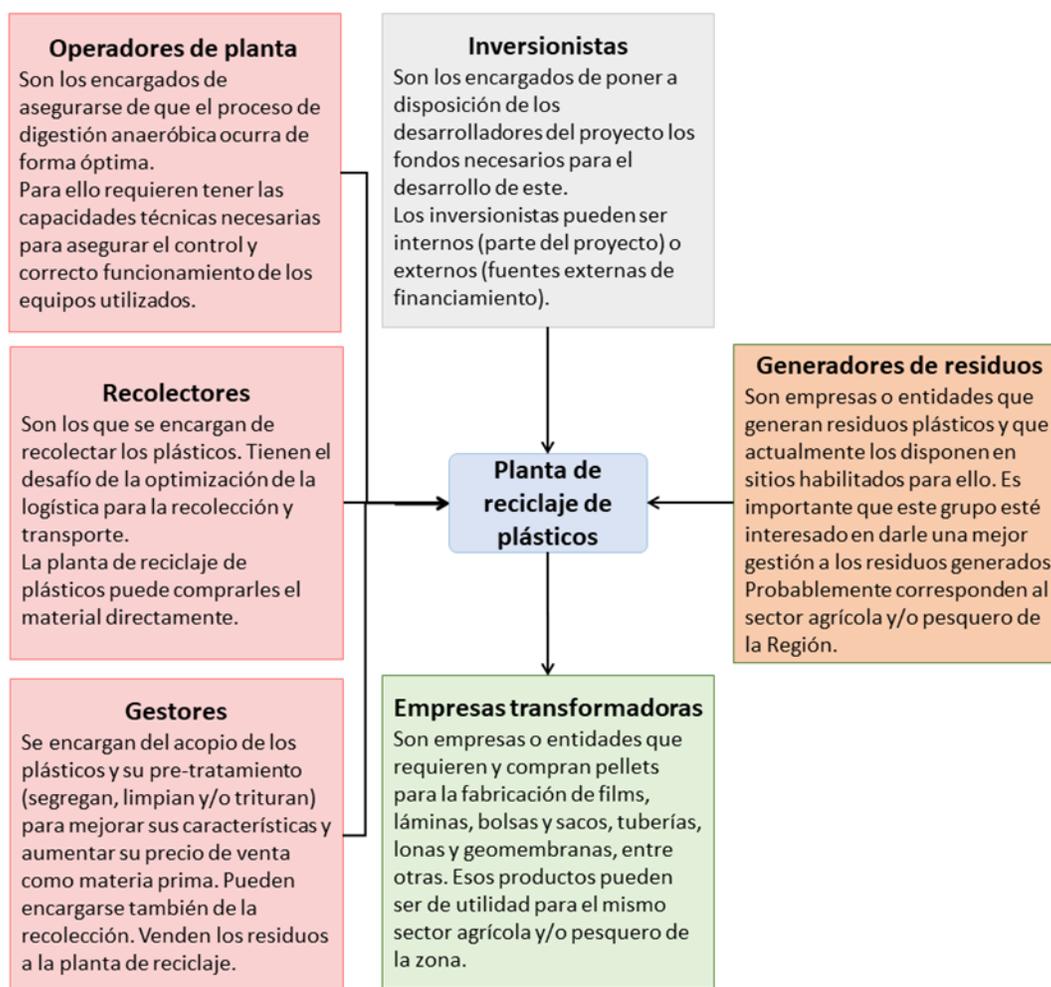


Figura 8-6: Actores clave de una planta de reciclaje de plásticos.
Fuente: Elaboración propia

A diferencia de los proyectos anteriores, la materia prima puede provenir de los generadores directamente, o bien de los recolectores o gestores. Los generadores pueden entregar los residuos de manera gratuita, cobrando por ellos o bien pagando por el servicio de tratamiento de residuos en la planta, dependiendo de que tan valioso es el residuo para los valorizadores, de si constituye un problema la gestión de este residuo para el generador o no, entre otros factores. Con respecto a los recolectores y gestores, se les por el material el material en un mejor estado que el obtenido de forma directa de los generadores.

8.3 Búsqueda de opciones de financiamiento de los proyectos.

A continuación, se presentan algunas alternativas de financiamiento concesional y no-concesional disponibles para proyectos de manejo de residuos en Chile.

8.3.1 Non Grant Instruments (NGI) - Global Environment Facility (GEF)

El GEF se estableció previa a la Cumbre de la Tierra de Río de Janeiro de 1992 con el objetivo ayudar a los países en desarrollo y economías en transición a contribuir al objetivo general de las Convenciones

de Río, incluida la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) para mitigar el cambio climático.

Tabla 8-4: Características NGI.

Tipo de instrumento	Concesional
Tipologías de proyectos	Cambio climático, degradación de la tierra, biodiversidad, productos químicos y residuos, y aguas internacionales. Próximamente: sistemas alimentarios, acuicultura.
Tipos de financiamiento (no está limitado solo a los tipos de financiamiento listados)	<ul style="list-style-type: none"> • Deuda. • Capital. • Garantías. Instrumentos de mitigación de riesgos.

Fuente: Elaboración propia

8.3.2 GCF Simplified Approval Process (SAP)

El Green Climate Fund (GCF) es el fondo más grande del mundo dedicado a ayudar a los países en desarrollo a reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero y mejorar su capacidad para responder al cambio climático.

El Simplified Approval Process Pilot Scheme (SAP) es un proceso de solicitud para proyectos o programas a menor escala y más expedito que el proceso normal del GCF, el cual puede llegar a otorgar hasta 10 MMUSD y permite el financiamiento de proyectos privados. Para su postulación es necesario presentar un concept note que describa el proyecto a financiar y justifique la mínima concesionalidad a la hora de otorgar el financiamiento. Este concept note deberá ser presentado ante el Directorio del GCF a través de una entidad acreditada (AE por su sigla en inglés).

Tabla 8-5: Características SAP.

Tipo de instrumento	Concesional
Tipologías de proyectos	Transporte, forestación, edificios, sustento, ecosistemas, salud, infraestructura y energía.
Tipos de financiamiento	<ul style="list-style-type: none"> • Subsidios. • Garantías. • Deuda. • Capital.

Fuente: Elaboración propia

8.3.3 Latin America investment Facility (LAIF) – European Union

Es uno de los mecanismos regionales de financiamiento mixto o blending de la Unión Europea (UE), con el objetivo de movilizar fondos para proyectos de desarrollo mediante la combinación de subvenciones de la UE con recursos financieros de instituciones financieras europeas y regionales, gobiernos y el sector privado. El instrumento busca dirigir financiamiento desde la Unión Europea hacia proyectos en América Latina con énfasis en proyectos congruentes con Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). Puede postular instituciones financieras, las cuales colocarán esos recursos en proyectos locales.

El objetivo es ayudar a los países de LATAM a financiar proyectos en sectores clave que son esenciales para el logro de los ODS, y permite el financiamiento de entre 2 y 15 MM EUR. Se podrá postular a

este instrumento solo a través de bancos de desarrollo europeos acreditados, por lo que se deberá trabajar con ellos para la preparación del concept note del proyecto.

Tabla 8-6: Características LAIF.

Tipo de instrumento	Concesional
Tipologías de proyectos	Agua y saneamiento, transporte, energías sostenibles, desarrollo urbano, agricultura sostenible, promoción de las pymes, protección del medio ambiente, desarrollo rural, gestión de desechos, reconstrucción y rehabilitación, y educación.
Tipos de financiamiento (usualmente entre 2 a 15 millones de EUR)	<ul style="list-style-type: none"> • Subvención • Asistencia técnica • Garantías • Aporte de capital de riesgo y garantías.

Fuente: Elaboración propia

8.3.4 Crédito Verde CORFO

La Corporación de Fomento de la Producción es un servicio público descentralizado, con patrimonio propio y personalidad jurídica. Crédito Verde es un programa de financiamiento que busca potenciar el desarrollo de proyectos que mitiguen los efectos del cambio climático y/o mejoren la sustentabilidad ambiental de las empresas.

El fondo puede llegar a financiar hasta 20 MM USD en un plazo de 15 años. Pueden postular empresas privadas productoras de servicios, las cuales deberán postular a este financiamiento a través de instituciones financieras que colaboran con el vehículo.

Tabla 8-7: Características Crédito Verde CORFO.

Tipo de instrumento	Concesional
Tipologías de proyectos	Generación y almacenamiento de energías renovables (hasta 9 MW), eficiencia Energética (optimización y reducción de costos), medidas de mejora medioambiental en procesos productivos en empresas y de economía circular.
Tipos de financiamiento	Deuda

Fuente: Elaboración propia

8.3.5 Bienes Públicos CORFO

Actualmente los Bienes Públicos actúan a través de las instituciones regionales. Para obtener este tipo de financiamiento se debe tener un mandante público. Esto es, una parte interesada que valida el valor agregado del proyecto.

Tabla 8-8: Características Bienes Públicos CORFO.

Tipologías de proyectos	Algunas áreas que abarca son Higiene y seguridad laboral, Eficiencia energética e hídrica, Reducción de emisiones, Valorización de residuos.
Tipos de financiamiento (requiere cofinanciamiento hasta 15%)	Subsidio (de hasta \$120.000.000)
Plazos	Actualmente se encuentra suspendido.
Etapa de Participación	Desarrollo y puesta en marcha.
Condiciones de Elegibilidad	Personas jurídicas constituidas en Chile o Personas naturales, mayores de 18 años.
Postulación	Algunos mandantes pueden ser: el Gobierno regional, SEREMI sectorial o director regional de CORFO, la cual debe explicitar el proyecto como parte de sus prioridades para que se avance con el financiamiento. Si luego de expresada la solicitud se gana la prioridad, esto se puede ejecutar 3 o 4 meses.

Fuente: Elaboración propia

8.3.6 Financiamiento Economía Circular Banco Estado

Bajo la iniciativa de Banco Estado, Mundo Verde, surge el financiamiento con tasa preferencial para sus inversiones y capital de trabajo. Este financiamiento tiene como fin incentivar la economía circular en Chile.

Es importante mencionar que este beneficio aplica a empresas que hayan sido beneficiados con subsidio de CORFO en los programas: Prototipos de Innovación-Economía Circular, Crea y Valida-Economía Circular, Consolida y Expande - Reactivación Sostenible, o que formen parte de un APL.

Tabla 8-9: Características Financiamiento Economía Circular Banco Estado.

Tipo de instrumento	Concesional
Tipologías de proyectos	Empresas que están comprometidas con el cuidado del medio ambiente, que reutilizan, reciclan y usan de manera responsable los recursos del planeta.
Tipos de financiamiento	Deuda

Fuente: Elaboración propia

8.3.7 Low Carbon Business Action (LCBA)

LCBA es una plataforma empresarial que busca promover la transición sostenible de las empresas hacia una economía circular y baja en carbono y consolidar la presencia internacional de las pymes europeas y empresas de pequeña y mediana capitalización en Argentina, Brasil, Chile y Colombia.

Para esto se realizará el intercambio de experiencias innovadoras a través de distintos eventos de matchmaking, donde se seleccionarán las empresas que participarán en cada evento y se promoverá la materialización de acuerdos de cooperación y asociación entre proveedores y empresas. Las alianzas serán monitoreadas y apoyadas por la Unión Europea, especialmente durante la formulación del proyecto y las propuestas de financiamiento.

Tabla 8-10: Características LCBA.

Tipo de instrumento	Concesional
Tipologías de proyectos	Agricultura y silvicultura, energía renovable y limpia, biocombustibles, gestión de residuos, procesos industriales, y eficiencia energética
Tipos de financiamiento (dependerá del país con el que se haga el convenio)	<ul style="list-style-type: none"> • Subsidios. • Garantías. • Deuda. • Capital.

Fuente: Elaboración propia

8.3.8 Sub-national Climate Finance Fund (SCF Fund)

El SCF Fund es un fondo de capital privado de impacto comercial que tiene como objetivo invertir y ampliar infraestructura mediana resistente al clima y soluciones basadas en la naturaleza. Administrado por Pegasus Capital Advisors, un administrador de inversiones de impacto de mercados privados globales establecido con acreditación del Green Climate Fund (GCF) y una extensa red en infraestructura, energía y residuos.

Tabla 8-11: Características SCF Fund.

Tipologías de proyectos	Optimización de residuos, generación de energía renovable, agricultura, entre otros.
Tipos de financiamiento (entre 5 y 75 MM USD en CAPEX)	<ul style="list-style-type: none"> Asistencia técnica: Costean parte o 100% de los estudios de pre-factibilidad y factibilidad, para el cual requieren un compromiso de derechos de equity, que podría concretarse después de la etapa de preinversión. En el compromiso no se establece un porcentaje del shareholding ni precios, pero si que el SCF sea el primero en tener la opción de adquirir capital, sin embargo, el SCF no garantiza que se concrete. Contribución de capital: No requieren ser los shareholders mayoritarios, pero si un porcentaje que les permita tener incidencia en las decisiones de la empresa

Fuente: Elaboración propia

8.3.9 DEG – KfW (Development Bank)

El DEG busca promover la iniciativa empresarial en los países en desarrollo y de mercados emergentes para apoyar el crecimiento sostenible y el mejoramiento de la calidad de vida de las personas. El DEG funciona bajo una lógica de Institución Financiera, por lo que no hay un rango de montos a entregar, sino que se evaluará caso a caso.

Tabla 8-12: Características DEG.

Tipologías de proyectos	Agroindustrial, financiero, industria, infraestructura y servicios.
Tipos de financiamiento	<ul style="list-style-type: none"> Préstamos de largo plazo (generalmente de 4 a 18 años). Inversión de capital. Financiamiento Mezzanine (entre equity y debt capital). Bonos. Asistencia técnica (Businnes Support Services (BSS)) para gestión de riesgos sociales y ambientales, formación de capacidades, entre otros.

Fuente: Elaboración propia

8.4 Búsqueda de sinergias entre empresas para el desarrollo de los proyectos

La colaboración entre empresas permite lograr un beneficio para todas a través de la suma de los esfuerzos con el fin de alcanzar un objetivo común.

Las potenciales sinergias que se deberían dar en el Valle de Casablanca, es entre empresas de la comuna y entre empresas de la comuna con empresas fuera de la comuna, de acuerdo con Plataforma Industria Circular (2021). Existe, además, una mesa de trabajo con socios como TresMontes, BAT, Polygal, Asociación de Viñas, Eckart, Cooperativa Agrícola, Energía Casablanca, Universidad de Viña del Mar, Sopraval, entre otros, desde donde comparten experiencias de éxito y se pueden generar potenciales sinergias en cuanto a gestión de residuos, comentó BAT a través de una entrevista realizada.

La Municipalidad de Casablanca, por su parte, está actualmente construyendo una planta de compostaje de 1 ha para recibir 2.500 TPA de residuos, principalmente de origen municipal. La meta sería tratar ¼ de los residuos domiciliarios, pero se considera como opción incluir residuos industriales. En un futuro se contempla una ampliación de la planta de compostaje para utilizar las 2 ha de terreno municipal que están disponibles. Se podrían generar convenios entre las empresas (Sopraval, Eckardt, Viñas varias, Desert King, entre otras) y la Municipalidad, para recibir los residuos a cambio de una tarifa de recolección y tratamiento.

En cuanto a los residuos plásticos agrícolas generados en Casablanca, los cuales se mencionaron como un problema en la zona, existe un Centro de Tratamiento Intermedio (CTI) de residuos sólidos que actualmente trabaja con 18 empresas y que más adelante comenzaría a recibir residuos prioritarios, sin embargo, los plásticos agrícolas no calificarían como productos prioritarios. La posible sinergia que daría solución a la gestión de este tipo de residuos se tendría que dar entre la Municipalidad, quienes recolectarían los residuos de los generadores, a cambio de una tarifa, para ser llevados al CTI en donde pasarían por un proceso de limpieza y pretratamiento para luego ser enviados a Revalora en donde serían revalorizados como elementos de construcción (madera plástica). Para esto, es necesario que exista un incremento en la disposición al pago por estos residuos para lograr la economía circular.

La Región del Maule, por otro lado, es una potencia en la agroindustria nacional en términos de exportación de alimentos procesados, frutas y hortalizas. Maule Alimenta es un Programa Estratégico Regional de Corfo cuyo objetivo principal es la articulación de la red de empresas de la Agroindustria del Maule, y considera estimular el cambio hacia una economía circular y gestión sustentable. Muchas de las empresas que son parte de este programa no cumplen con los requisitos de volumen de residuos para declarar en SINADER, pero en conjunto, representan una cantidad importante de los residuos agroindustriales generados en la región. A partir de este programa, se pueden generar variadas sinergias en torno a la valorización de los residuos tanto orgánicos como inorgánicos.

En relación con los plásticos agrícolas en general, a partir de conversaciones con Comberplast se tiene como antecedente su interés por la gestión de estos, sin embargo, la logística de recolección dificulta esta iniciativa. Son muchos los puntos en donde se debería llevar a cabo la recolección de estos plásticos por lo que se deben crear sinergias entre empresas que estén próximas geográficamente hablando. En el caso de la Región del Maule, se podría instaurar un sistema articulado entre las empresas generadoras y empresas recolectoras y gestoras de residuos como CicloVerde, Volta a través de EcoMaule, o Reciclean, en donde a través de un sitio de acopio por industria agrícola, se haga el retiro por parte de los camiones, y sean llevados hasta un centro de acopio de las mismas empresas gestoras o a Ortiz Reciclaje, por ejemplo, en donde sean segregados y limpiados para poder venderlos a Comberplast para su posterior valorización.

En la Región de Los Lagos, Comberplast juega un papel importante también. Se planea construir una planta de pretratamiento de plásticos en donde recibirán cabos, boyas, y mayoritariamente redes, con lo cual aumentaría la valorización de estos tipos de residuos. Comberplast suele trabajar con recolectores y gestores, por lo que con esta nueva planta se generarán nuevas sinergias con estos actores clave de la zona. Por otra parte, Chileplast posee una planta ubicada en Puerto Varas en donde recuperan materiales plásticos desechados de procesos industriales de la industria acuícola para su posterior transformación en materias primas y nuevos productos terminados. Se podrían potenciar sinergias entre empresas de la industria acuícola y ambas plantas de reciclaje que permita una mejor coordinación en cuanto a la recepción y acopio de bajo impacto, disminución de la huella ambiental, y, además, diseñar nuevos productos con la trazabilidad del material reutilizado. Los residuos plásticos serían recolectados y llevados a la empresa más cercana geográficamente para abaratar costos de transporte.

9. Conclusiones generales y comentarios finales

La sinergia entre empresas es muy importante para el desarrollo de la economía circular en el país. Estas alianzas entre empresas permiten alcanzar importantes intercambios de conocimientos y ahorros económicos al incorporar mejoras y eficiencias en los procesos productivos. Por esta razón, nace el Programa Estratégico Territorio Circular que busca, a través de un trabajo colaborativo y de articulación público-privado en distintos sectores, promover modelos de economía circular que generen impacto en los territorios y sus habitantes.

A través de esta consultoría, y de acuerdo con la información recabada en estudio, se propusieron 6 proyectos de valorización de residuos tanto orgánicos como inorgánicos en los territorios: Valle de Casablanca, Región del Maule y Región de Los Lagos en base a las tecnologías de compostaje, digestión anaeróbica y reciclaje mecánico. Esto permitiría valorizar residuos orgánicos como lodos, restos de alimentos y especies vegetales, purines lecheros, escobajo y orujo de producción vitivinícola y plásticos agrícolas y de la industria acuícola. Si se implementaran cada uno de los proyectos de la cartera propuesta se movilizaría una inversión de más de \$26.000.000 de USD, se generarían entre 100 y 106 empleos y se reducirían total de 1.683.987 tCO₂ en 20 años. Lo anterior, mediante el tratamiento de un total de 204.062 TPA de residuos orgánicos e inorgánicos provenientes del sector industrial de la comuna de Casablanca, de la región del Maule y de la región de Los Lagos.

Por medio de la investigación para la identificación de estos proyectos, y a través del desarrollo de los modelos de negocios, se identificaron aspectos, desafíos y oportunidades que se comentan a continuación. En primer lugar, es prioritario que se realice un levantamiento de información más robusto y detallado que integre a la mayoría de las empresas por industria, para poder tener una base sólida de información que sirva para la toma de decisiones. Cabe resaltar que la información levantada en este estudio es referencial y los valores aquí obtenidos tienen oportunidad de mejora.

Como oportunidad, se estima que aumentará la inversión en proyectos tanto por un mejoramiento sanitario del país, como por efecto del desarrollo económico que exigen soluciones de mejor calidad y servicio. Para que la valorización de residuos sea competitiva frente a la disposición final, se requiere de políticas que la incentiven. Por una parte, para mejorar la efectividad en la valorización de los residuos, se deben establecer preacuerdos con las empresas que mejoren la logística de transporte y disgregación de residuos.

A pesar de que hay numerosas oportunidades para el desarrollo de los proyectos propuestos, también existen múltiples barreras, identificadas en este estudio, que deben derribarse para poder realmente potenciar el desarrollo de la economía circular en el manejo de residuos industriales. Con un trabajo en conjunto de empresas, sector público, municipalidades y las comunidades, se facilitará este proceso, por lo que se releva la necesidad de generar instancias de participación representativa de estos actores, como también de la generación de sinergias, las cuales se han comenzado a canalizar a través de APLs, mesas de trabajo y otras iniciativas como Territorio Circular, sin embargo, aún existen muchos desafíos por delante.

10. Referencias

- Agencia de Sustentabilidad y Cambio Climático. (s.f.). *Acuerdos de Producción Limpia*. Obtenido de <https://www.ascc.cl/pagina/apl>
- Al-Salem, S., Lettieri, P., & Baeyens, J. (2009). Recycling and recovery routes of plastic solid waste (PSW): a review. *Waste Management*.
- Armony Sustentable. (2021). *Webinar Reciclo Orgánicos sobre Compost: el abono natural que reduce la erosión del suelo y combate el cambio climático*. Obtenido de <https://www.armony.cl/webinar-reciclo-organicos-sobre-compost-el-abono-natural-que-reduce-la-erosion-del-suelo-y-combate-el-cambio-climatico/>
- Asegre. (s.f.). *Mezclas de residuos municipales*. Obtenido de <https://asegre.com/residuo/mezclas-de-residuos-municipales/>
- ASIPLA. (2019). *Estudio sobre reciclaje de plásticos en Chile*. Obtenido de Asociación Gremial de Industriales del Plástico: <https://www.asipla.cl/wp-content/uploads/2021/05/Estudio-sobre-Reciclaje-de-Plasticos-en-Chile-Resumen-Ejecutivo.pdf>
- Asipla. (2021). *2° Estudio sobre reciclaje de plásticos en Chile*. Obtenido de https://www.marienberg.cl/wp-content/uploads/Presentacion-2ndo-Estudio-Reciclaje-16_12.pdf
- ASIPLA. (2021). *DIAGNÓSTICO Y PROPUESTA APL POTENCIANDO LA DEMANDA DE RESINAS PLÁSTICAS RECICLADAS*. Obtenido de ASIPLA: <https://www.asipla.cl/wp-content/uploads/2021/05/Diagnostico-de-APL-de-Resinas-Plasticas-Recicladas-web.pdf>
- Avilés. (2015). *Plan de Negocio de Reciclaje para la Industria del Plástico*. Obtenido de <https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/132197/Plan-de-negocio-de-reciclaje-para-la-industria-del-plastico.pdf?sequence=20>
- Avilés, I. (2015). *Plan de negocio de reciclaje para la industria del plástico*. Santiago de Chile.
- Banco de Desarrollo de América Latina. (2021). *Blended Finance*. Obtenido de <https://www.caf.com/media/3382110/drfi-financiamiento-mixto.pdf>
- Barrera-Cardoso, E. L., Carabeo-Pérez, A., Odales-Bernal, L., Contreras-Velázquez, L. M., & López-González, L. (2018). Sistematización de aspectos teóricos sobre las tecnologías de producción de biogás a escala industrial. *Tecnología Química*, 38(1), 29-45.
- Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. (2022). *Información Territorial*.
- Carrasco Allendes, J. L. (2015). *EVALUACIÓN TÉCNICA Y ECONÓMICA DE UNA PLANTA DE BIOGÁS PARA AUTOABASTECIMIENTO ENERGÉTICO: UNA ESTRATEGIA PARA DIFERENTES CONTEXTOS*. Santiago de Chile.
- CCAC, & CCAP. (2018). *Análisis de pre-factibilidad y plan de implementación para un proyecto de tratamiento de residuos orgánicos en Puerto Varas y la provincia de Llanquihue, Chile*.
- Cenem. (2018). *El Journal del Packaging*. Obtenido de Anuario Estadístico. Producción Nacional de Envases y Embalajes.
- ClimateCheck. (2020). *Chile GHG Emission Reductions Quantification Protocol for Organic Residue Composting*.

- Comisión Nacional del Agua. (2015). *Inventario Nacional de Plantas Municipales de Potabilización y de Tratamiento de Aguas Residuales en Operación. Diciembre 2015*. Obtenido de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/197610/Inventario_2015.pdf
- csr Laboratorio. (s.f.). *Factores que afectan al proceso de compostaje*. Obtenido de <https://csrlaboratorio.es/laboratorio/agricultura/fertilizantes-y-abonos/abonos-organicos-y-especiales/factores-que-afectan-al-proceso-de-compostaje/>
- de Lemos Chernicharo, C. A. (2007). *Anaebic reactors*. IWA publishing.
- Ecoplas. (2020). *Reciclado de plásticos*. Obtenido de <https://ecoplas.org.ar/reciclado-de-plasticos/>
- Eggersmann. (s.f.). *Tartamiento de residuos de madera*. Obtenido de <https://www.eggersmann-recyclingtechnology.com/es/aplicaciones/tratamiento-de-residuos-de-madera/>
- Eurostat. (2020). *Energy, transport and environment statistics*. Obtenido de <https://ec.europa.eu/eurostat/documents/3217494/11478276/KS-DK-20-001-EN-N.pdf/06ddaf8d-1745-76b5-838e-013524781340?t=1605526083000>
- FJG Consulting. (2015). *On-Site Composting Review for Commercial & Institutional Sites. City of Nelson, British Columbia, Canadá*. Obtenido de <https://www.nelson.ca/DocumentCenter/View/691/On-Site-Composting-Review-for-Commercial-and-Institutional-Sites---May-10-2015-PDF>
- Garcés, J. (15 de 11 de 2021). *Salmon Expert*. Obtenido de <https://www.salmonexpert.cl/acuicultura-chile-compost/comienzo-a-operar-nueva-planta-que-transforma-lodos-de-la-salmonicultura/1188210>
- García-Huidobro, J. L. (10 de Junio de 2022). Zero Corp: La mega planta de compostaje que funciona de forma abierta en el sur de Chile. (C. G. Farfán, Entrevistador)
- GIZ. (2020). *TECNOLOGÍAS PARA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS*. Obtenido de <https://4echile.cl/wp-content/uploads/2020/11/Ficha-T%C3%A9cnica-Tecnolog%C3%ADas-para-producci%C3%B3n-de-biog%C3%A1s.pdf>
- Gobierno Regional de Los Lagos. (2021). *Estrategia Regional de Desarrollo Los Lagos 2030*. Obtenido de https://www.gorelосlagos.cl/resources/descargas/erd_2030/ERD_LosLagos_2030.pdf
- Gobierno Regional de Valparaíso. (2012). *Estrategia Regional de Desarrollo*. Obtenido de https://proactiva.subdere.gov.cl/bitstream/handle/123456789/317/ESTRATEGIA_REGIONAL_DE_DESARROLLO_REGION_DE_VALPARAISO.PDF?sequence=1&isAllowed=y
- Gobierno Regional del Maule. (2022). *Estrategia Regional de Desarrollo Maule 2022 - 2024*. Obtenido de <https://erdmaule.cl/#transicion-ecologica| | tabs| 4>
- Gobierno Regional Región de Los Ríos; INDAP. (2018). *BIOGÁS DE RESIDUOS AGROPECUARIOS EN LA REGIÓN DE LOS RÍOS*. Obtenido de <https://www.goredelosrios.cl/wp-content/uploads/2018/01/Libro-Biogas-PRDSAP-Regi%C3%B3n-de-Los-R%C3%ADos.pdf>
- Gobierno Regional Región de Los Ríos; INDAP. (2018). *BIOGÁS DE RESIDUOS AGROPECUARIOS EN LA REGIÓN DE LOS RÍOS*. Obtenido de <https://www.goredelosrios.cl/wp-content/uploads/2018/01/Libro-Biogas-PRDSAP-Regi%C3%B3n-de-Los-R%C3%ADos.pdf>

- Gómez Cortes, A. T. (2020). *LA ECONOMÍA CIRCULAR COMO ALTERNATIVA PARA EL RECICLAJE DE CONCRETO (RCD) EN UNA OBRA CIVIL*. Bogotá, D.C.
- González Farfán, C. (11 de enero de 2022). Un hito en Chile: ya está operativa la primera planta de revalorización de residuos de la construcción en Sudamérica. *País Circular*. Obtenido de <https://www.paiscircular.cl/industria/un-hito-en-chile-ya-esta-operativa-la-primera-planta-de-revalorizacion-de-residuos-de-la-construccion-en-sudamerica/>
- Gonzalez, C. (17 de Abril de 2019). *País Circular*. Obtenido de Estrategia multisectorial busca impulsar una gestión sustentable de los residuos de la construcción en base a la economía circular: <https://www.paiscircular.cl/industria/las-empresas-que-apuestan-por-la-gestion-sustentable-de-sus-residuos-de-construccion/>
- Green World Compounding. (s.f.). *Sustainable Plastics for a Better World*. Obtenido de <https://gwcplastics.com/productos/>
- Hernández Romero, M. (2016). *DISEÑO DE UNA PLANTA DE BIOMETANIZACIÓN DE RESIDUOS DOMÉSTICOS*. Obtenido de <https://oa.upm.es/42792/>
- Hidalgo, E. (2018). *Residuos generados en la construcción de viviendas*.
- IDEA Consult. (2018). Development and implementation of initiatives fostering investment and innovation in construction and demolition waste recycling infrastructure. *Publications Office*. Obtenido de <https://data.europa.eu/doi/10.2873/11837>
- Información Región del Maule. (2019). *ODEPA*.
- InvestChile. (Junio de 2021). *Infraestructura para el Reciclaje: Envases y Embalajes Plásticos*. Obtenido de Proyecciones y Oportunidades de Inversión en Chile: <https://fch.cl/wp-content/uploads/2021/07/e-Book-PactoPlastico-esp.pdf>
- J. Moreno, R. M.-M. (2014). *De Residuo a Recurso. El camino hacia la sustentabilidad*. Obtenido de https://books.google.cl/books?hl=es&lr=&id=yL3-CAAQAQBAJ&oi=fnd&pg=PA13&dq=residuos+organicos+agricolas&ots=RoczHVcwcH&sig=2y-Ep42Rnp0v_55wHQ9HJZ1HOBQ#v=onepage&q=residuos%20organicos%20agricolas&f=false
- Joint Research Centre of the European Commission. (2014). Energy Technology Reference Indicator Projections for 2010–2050. *JRC Science and Policy Reports*.
- Joint Research Centre, I. f., Weidner, E., Jakubcionis, M., & Vallei, M. (2014). Energy Technology Reference Indicator (ETRI) projections for 2010-2050. *Publications Office*. Obtenido de <https://data.europa.eu/doi/10.2790/057687>
- Jurgutis, L., Šlepetienė, A., Šlepetys, J., & Cesevičienė, J. (2021). Towards a Full Circular Economy in Biogas Plants: Sustainable Management of Digestate for Growing Biomass Feedstocks and Use as Biofertilizer. *Energies*, 14(14). Obtenido de <https://doi.org/10.3390/en14144272>
- Kumar, S., Panda, A., & Singh, R. (2011). A review on tertiary recycling of high-density polyethylene to fuel. *Resources, Conservation and Recycling*.
- Leal, M. (2020). *Proponer guía de buenas prácticas orientadas a minimizar residuos sólidos llevados a botadero en edificación en altura*.

- Leal, M. (2020). *Proponer guía de buenas prácticas orientadas a minimizar residuos sólidos llevados a botadero en edificación en altura.*
- MacArthur, E. (2017). Beyond plastic waste. *Science.*
- Maule Alimenta. (2022). Obtenido de <https://maulealimenta.cl/wp-content/uploads/2022/06/per-catv5.pdf>
- Ministerio de Energía. (2011). *Crea tu propia energía.* Obtenido de https://autoconsumo.minenergia.cl/?page_id=524
- Ministerio de energía. (2011). *Programa de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura; Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura; Global Enironment Facility.* Obtenido de Manual de Biogás: Ministerio de energía; Programa de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura; Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura; Global Enironment Facility.
- Ministerio de Energía. (2012). *Crea tu propia energía.* Obtenido de https://autoconsumo.minenergia.cl/?page_id=524
- Ministerio de Energía. (2021). *Planificación Energética de Largo Plazo: Informe Preliminar.* Obtenido de https://energia.gob.cl/sites/default/files/documentos/pelp2023-2027_informe_preliminar.pdf
- Ministerio de energía; Programa de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura; Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura; Global Enironment Facility. (2011). *MANUAL DE BIOGÁS.* Obtenido de https://www.energia.gob.cl/sites/default/files/documentos/manual_de_biogas.pdf
- Ministerio de Vivienda y Urbanismo. (2021). *Visores del Ministerio de Vivienda y Urbanismo.* Obtenido de <https://ide.minvu.cl/pages/visores>
- Ministerio del Interior y Seguridad Pública. (13 de Octubre de 2022). *Diario Oficial de la República de Chile. Ministerio de Energía. Fija Precios estabilizados para medios de generación de pequeña escala.*
- Ministerio del Medio Ambiente. (2018). *35 toneladas de plásticos agrícolas se logró recuperar durante campaña en Zona Rezagada.* Obtenido de <https://mma.gob.cl/35-toneladas-de-plasticos-agricolas-se-logro-recuperar-durante-campana-en-zona-rezagada/>
- Ministerio del Medio Ambiente. (11 de octubre de 2018). *35 toneladas de plásticos agrícolas se logró recuperar durante campaña en Zona Rezagada.* Obtenido de <https://mma.gob.cl/35-toneladas-de-plasticos-agricolas-se-logro-recuperar-durante-campana-en-zona-rezagada/>
- Ministry of Alberta Environment and Parks. (2018). *Compost Facility Operator Study Guide. Alberta, Canadá.* Obtenido de http://www.compost.org/wp-content/uploads/2019/10/Alberta_Compost_Facility_Operator_Study-Guide.pdf
- Moreno, J., Moral, R., García-Morales, J., Pascual, J., & Bernal, M. (2015). *De Residuo a Recurso, El Camino hacia la Sostenibilidad.* Madrid: Mundi-Prensa.
- ODEPA. (2020). *Región del Maule.* Obtenido de <https://www.odepa.gob.cl/wp-content/uploads/2020/06/Maule-.pdf>

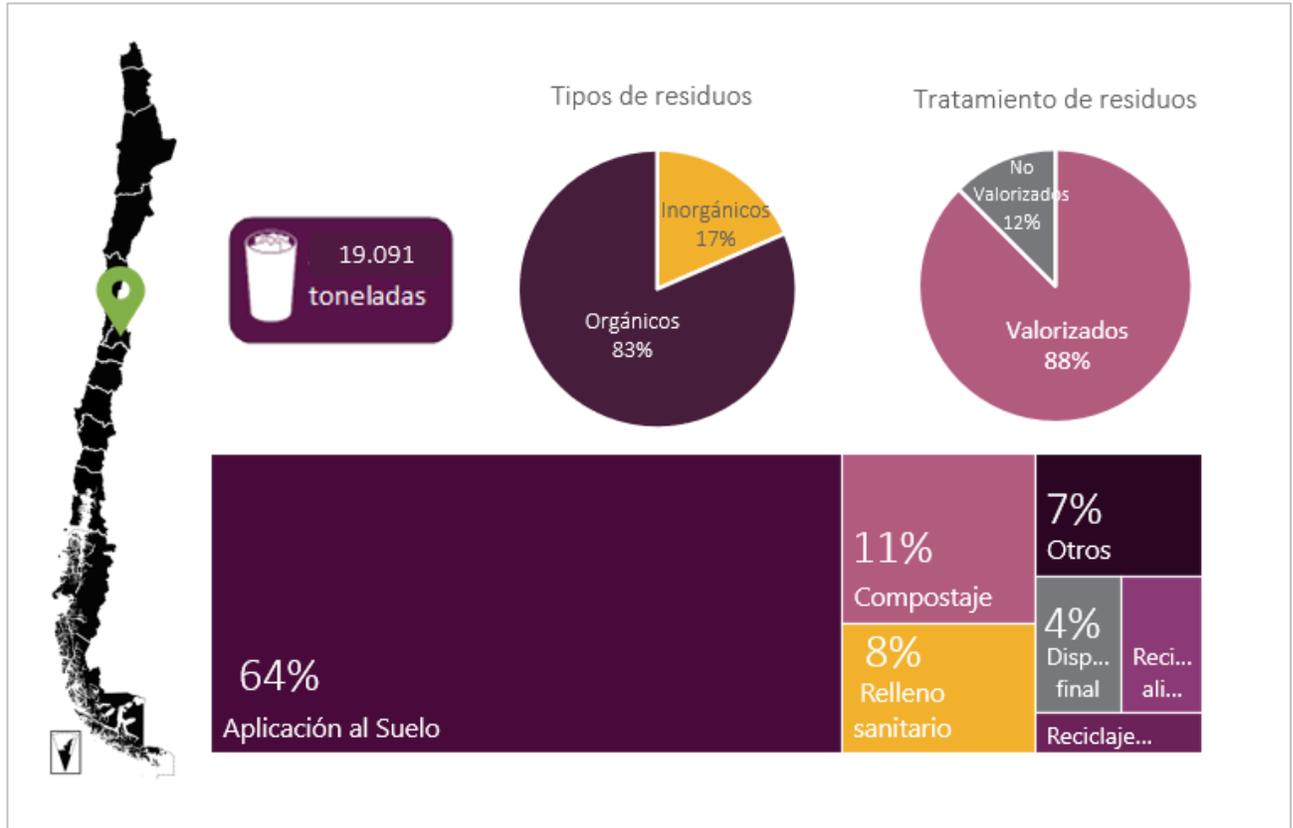
- OECD. (2022). *Condiciones propicias para el financiamiento y la inversión en bioenergía en Colombia*. OECD Publishing. Obtenido de <https://doi.org/10.1787/e5c91d04-es>
- Okan, M., Aydin, H., & Barsbay, M. (2019). Current approaches to waste polymer utilization and minimization: a review. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*.
- Oliveros Sanchez, L. F. (2021). *ALTERNATIVAS DENTRO DE LA ECONOMÍA CIRCULAR PARA EL APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN (RCD)*. Bogotá, D.C.
- ONUDI. (2017). *Biogás en el sector lechero en Chile*. Obtenido de <https://biogaslechero.minenergia.cl/wp-content/uploads/2018/06/Guia-Biogas-sector-lechero-2018.pdf>
- Pais Lobo. (22 de febrero de 2022). *Osorno: Ecoprial construye la primera planta de Biogás en Chile*. Obtenido de <https://www.paislobo.cl/2022/02/ecoprial-construye-la-primera-planta-de-biogas-en-chile.html>
- Prieto, A. M. (2017). *Plastics Technology Mexico*. Obtenido de Reciclaje de Plásticos de uso agrícola: <https://www.pt-mexico.com/articulos/reciclado-de-plasticos-de-uso-agricola>
- Prieto, A. M. (2017). *Reciclaje de plásticos de uso agrícola*. Obtenido de Plastics Technology México: <https://www.pt-mexico.com/articulos/reciclado-de-plasticos-de-uso-agricola>
- Reciclo Orgánicos. (s.f.). *Compostaje*. Obtenido de <https://reciclorganicos.com/proyectos/compostaje/#:~:text=El%20compostaje%20es%20un%20proceso,similar%20al%20suelo%2C%20denominado%20compost.>
- Reciclo Orgánicos. (s.f.). *BIODIGESTIÓN*. Obtenido de <https://reciclorganicos.com/proyectos/biodigestion/>
- Ruiz, C., Wolff, M., & Claret, M. (2015). *Rastrojos de cultivos anuales y residuos forestales*. Obtenido de <https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/20.500.14001/7856/NR40197.pdf?sequence=6&isAllowed=y>
- Servicio Agrícola y Ganadero. (s.f.). *Acuerdos de Producción Limpia*. Obtenido de <https://www.sag.gob.cl/ambitos-de-accion/acuerdos-de-produccion-limpia-apl>
- Servicio de Evaluación Ambiental. (s.f.). *Ficha del Proyecto: Planta de Compostaje Catemito*. Obtenido de https://seia.sea.gob.cl/expediente/expedientesEvaluacion.php?modo=ficha&id_expediente=5953
- Servicio de Evaluación Ambiental. (s.f.). *Ficha del Proyecto: Planta de Generación de Bioenergía Molina*. Obtenido de https://seia.sea.gob.cl/expediente/ficha/fichaPrincipal.php?modo=normal&id_expediente=8397299
- Silva, D. (11 de Noviembre de 2020). *La Tercera*. Obtenido de Comienza en Talca la construcción de la planta de compostaje más grande del país: <https://www.latercera.com/que-pasa/noticia/comienza-en-talca-la-construccion-de-la-planta-de-compostaje-mas-grande-de-chile/RCADDBUYXFAT3LRDGGKVH35VTQ/>

- Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo. (2018). 4. *DIAGNÓSTICO NACIONAL Y REGIONAL SOBRE GENERACIÓN Y ELIMINACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS DOMICILIARIOS Y ASIMILABLES*.
- Tilley, E. U. (2018). *Compendio de sistemas y tecnologías de saneamiento*. Obtenido de https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/TILLEY%20et%20al%202018.%20Compendio%20de%20sistemas%20y%20tecnolog%C3%ADas%20de%20saneamiento.pdf
- Tilley, E., Ulrich, L., Lüthi, C., Reymond, P., Schertenleib, R., & Zurbrügg, C. (2018). *Compendio de sistemas y tecnologías de saneamiento*. Obtenido de https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/TILLEY%20et%20al%202018.%20Compendio%20de%20sistemas%20y%20tecnolog%C3%ADas%20de%20saneamiento.pdf
- United Nations Human Settlements Programme. (s.f.). *Advancing organic waste composting in São Paulo, Brazil*. Obtenido de <https://www.urbanagendaplatform.org/best-practice/advancing-organic-waste-composting-sao-paulo-brazil>
- WBCSD. (2009). *Iniciativa por la sostenibilidad del cemento*. Obtenido de https://docs.wbcd.org/2009/06/e-CSI_Recycling_Concrete_Spanish.pdf
- Wolff, G. (7 de noviembre de 2017). Protocolo de la UE para la gestión de residuos de construcción y demolición. Madrid, España.
- Zhang, F. Z. (2020). *Current technologies for plastic waste treatment: A review*. Obtenido de Journal of Cleaner Production: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124523>
- Zhang, F., Zhao, Y., Wang, D., Yan, M., Zhang, J., Zhang, P., . . . Chen, C. (2020). Current technologies for plastic waste treatment: A review. *Journal of Cleaner Production*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124523>

11. Anexos

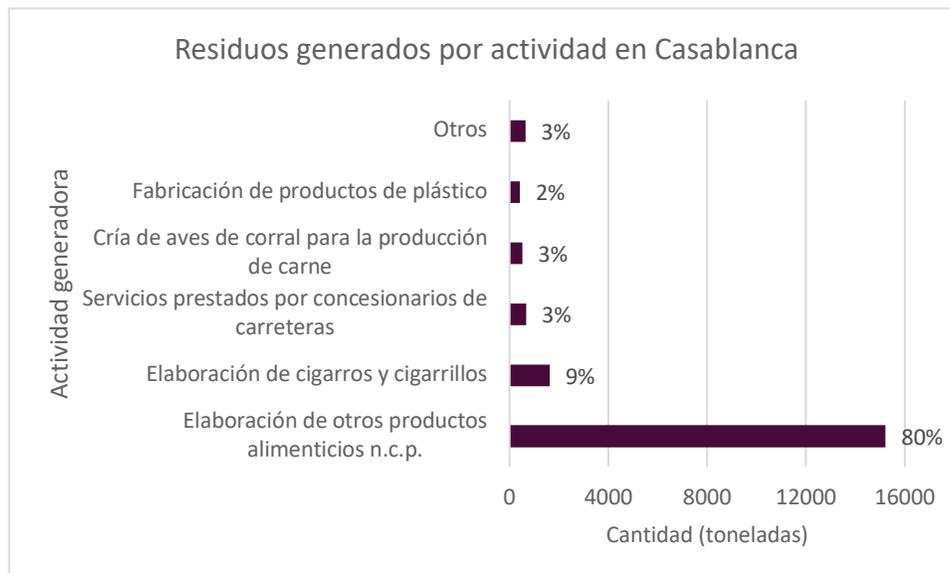
11.1 Anexo 1: Comuna de Casablanca

- Estadísticas de producción y valorización de residuos en la comuna (RETC).



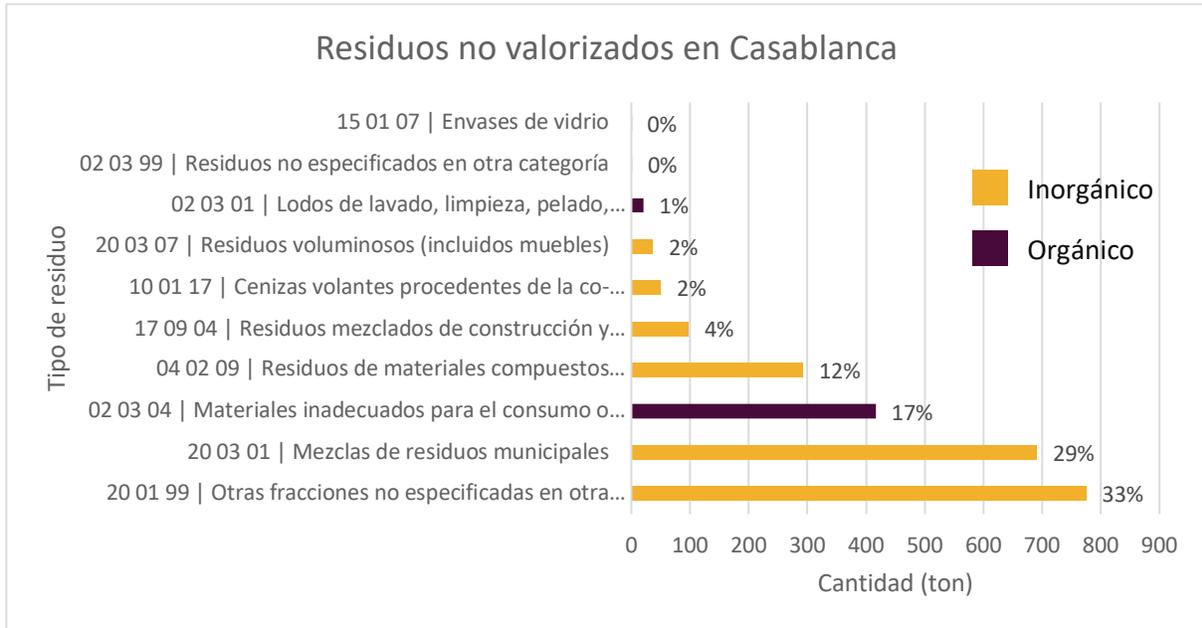
Fuente: Elaboración propia

- Principales residuos generados por actividad en el Valle de Casablanca (RETC).



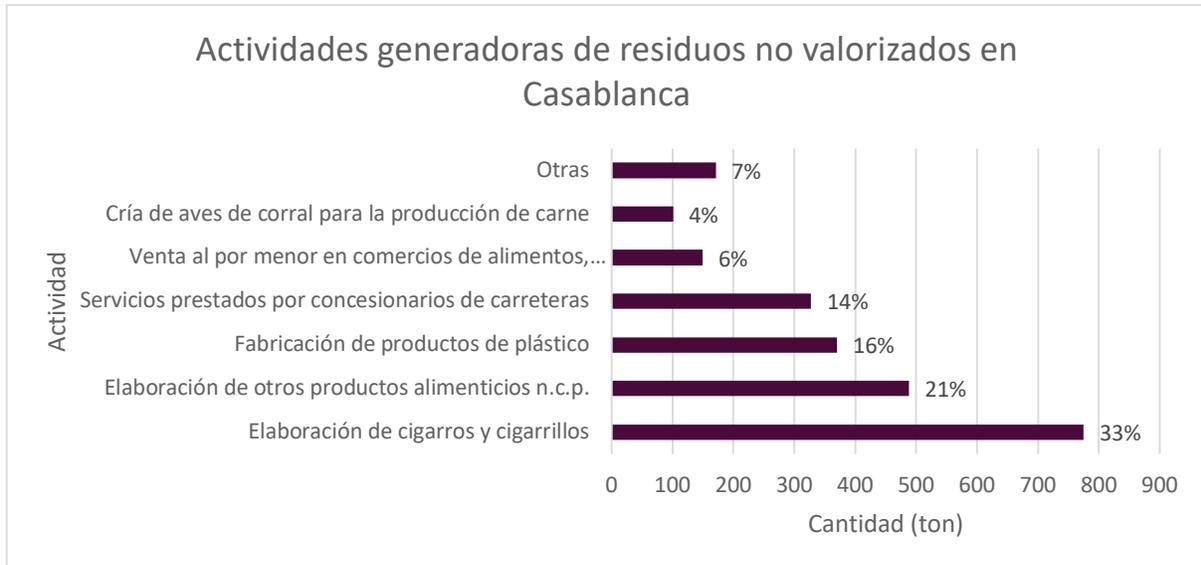
Fuente: Elaboración propia

- **Tipos de residuos no valorizados en el Valle de Casablanca (RETC).**



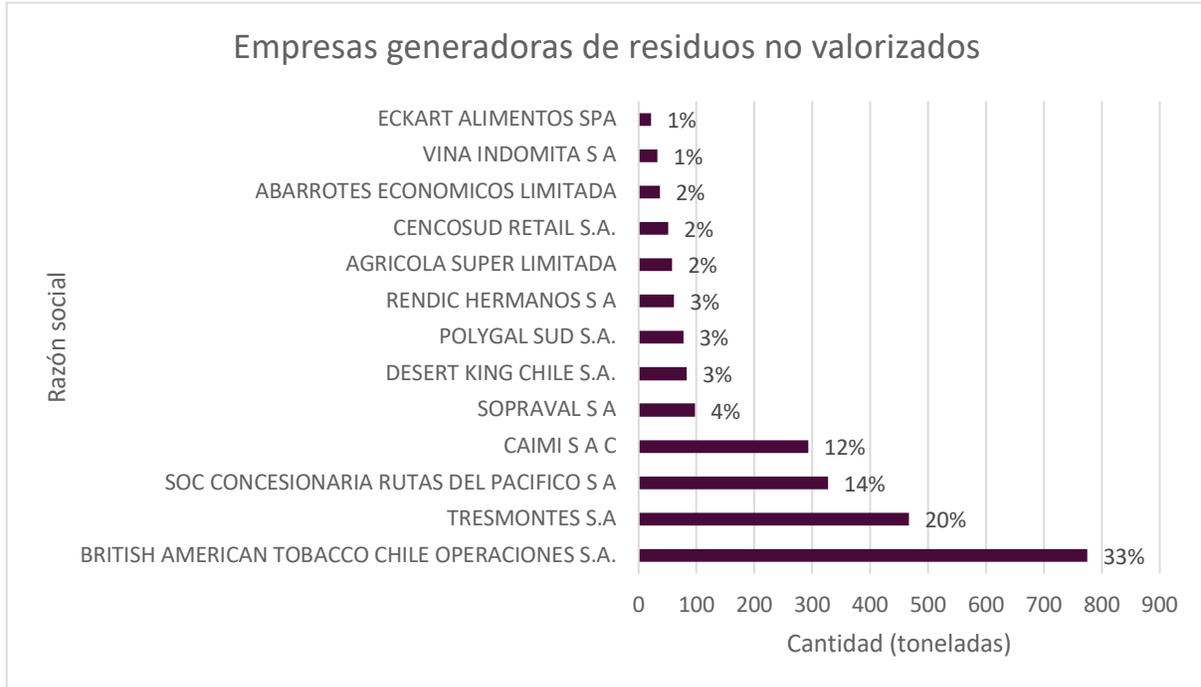
Fuente: Elaboración propia

- **Principales actividades generadoras de residuos no valorizados en el Valle de Casablanca (RETC).**



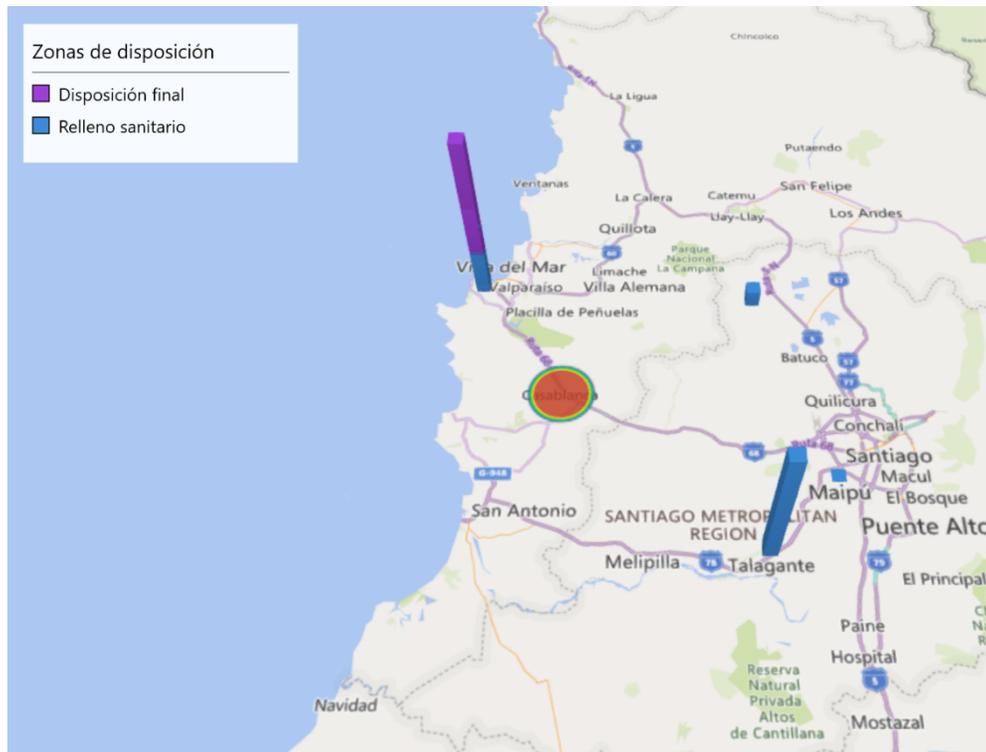
Fuente: Elaboración propia

- Principales empresas generadoras de residuos no valorizados en el Valle de Casablanca (RETC).



Fuente: Elaboración propia

- Zonas de disposición para los residuos generados en el Valle de Casablanca (RETC).



Fuente: Elaboración propia

- Zonas de disposición para los residuos generados en el Valle de Casablanca (RETC).



Fuente: Elaboración propia

Tipo de residuo	Porcentaje del total NV
01 Fracciones recogidas selectivamente	33%
03 Otros residuos municipales	31%
03 Residuos de la preparación y elab. de frutas, hortalizas, cereales, etc.	18%

Fuente: Elaboración propia

- Listado de empresas contactadas para completar cuestionarios para el levantamiento de información.

Empresa/ Institución/ Programa	Representante	Estado
British American Tobacco	Camila Gatica	Acuerdo de reunión. Cuestionario completado.
TresMontes Luchetti	Pablo Andía	Acuerdo de reunión Cuestionario pendiente.
Caimi	Gonzalo Barrientos	Sin respuesta.
Sopraval	Jaime Edwards	Sin respuesta.
Desert King Chile	Tomas Crisoto	Sin respuesta.
Eckart Alimentos	Johannes Wenzel	Cuestionario Pendiente.

Fuente: Elaboración propia

- Reuniones realizadas para el levantamiento de información.

Empresa/ Institución/ Programa	Representante	Fecha	Principales Hallazgos
TresMontes Luchetti	Valeria Stuardo	20 Sept	<ul style="list-style-type: none"> - Ya valorizan los envases y embalajes. - Están evaluando la producción de biogás para autoconsumo a partir de borra y alimentos descartados. - Tienen un proyecto con CMPC para desarrollar envases de pulpa moldeada. - Las borras de té y café se queman en un 80% aproximadamente para producción de energía y el resto se entrega a agricultores para aplicación en suelo. - Para entregar mayores detalles en cuanto a valorización y disposición se comprometieron a que la persona encargada completará el cuestionario para ser devuelto a ImplementaSur.
British American Tobacco	Camila Gatica Julio Sarmiento	27 Sept	<ul style="list-style-type: none"> - Reciclan los residuos orgánicos. - El descarte de material de filtros, aceites y mix de residuos se clasifica como residuos no especificados que son aquellos que no pueden procesar. - No se están valorizando 40 toneladas de filtros compuestos por acetato de celulosa, papel (50% de los filtros), triacetina (plastificante que se degrada en ciertas condiciones) y filtros con cápsula con carbón activo. - Reciclan actualmente el 60% de sus residuos. - Para el manejo de residuos trabajan con Veolia quienes buscan soluciones para todos sus residuos. - ORCA hace un proceso de manejo de residuos orgánicos. - El tabaco que se pierde y no se contamina, se devuelve al proceso, mientras que el tabaco que se pierde y no se puede reincorporar se composta. - Los filtros de cigarrillos son biodegradables (entre 2 a 7 años dependiendo de las condiciones) y representan el 5% de los residuos. A partir de ellos se está explorando con startups hacer plásticos de segundo uso. - Son socios fundadores de la Corporación para el Desarrollo de Casablanca quienes tienen una mesa de trabajo con distintas empresas y corporaciones para tratar el tema de residuos. Principalmente colaboran en temas de uso de agua y comparten experiencias de valorización de residuos.
SEREMI de Medio Ambiente	Christian Fuentes	3 Oct	<ul style="list-style-type: none"> - En Casablanca hay una planta de compostaje (Bonum Terrae) que atiende los residuos de TresMontes Luchetti pero que cuenta con capacidad limitada. - No hay avances en cuanto a tecnologías para tratar los filtros de cigarrillos (INECO son los primeros en Chile). - El Centro de tratamiento tiene un sistema de acopio de residuos, donde se espera realizar recolección selectiva y centro de separación de residuos. - La Fundación REVALORA realiza valorización de casi todos los plásticos y producen "madera plástica". El proyecto se presentó con carta de pertinencia al SEIA, por lo tanto, la capacidad que tiene actualmente la planta no es suficiente. - Se sugiere considerar los residuos de viñas.
Encargada de Medio Ambiente del Departamento de Gestión Medio Ambiental de la Ilustre Municipalidad de Casablanca	Alexa Gonzalez	15 Nov	<ul style="list-style-type: none"> - El Centro de Tratamiento Intermedio (CTI) nace a partir del cierre del vertedero municipal. Tienen un recinto de reciclables (300 ton/año), mayoría vidrio. - Los residuos de lechería no se han valorizado porque llegan con un alto porcentaje de restos orgánicos. - Está en construcción una planta de compostaje enfocada en residuos domiciliarios, pero planean incluir el sector industrial, con capacidad e 2.400 TPA. Empezará a operar el 2023. El

Empresa/ Institución/ Programa	Representante	Fecha	Principales Hallazgos
			<p>financiamiento (750 MM) es por parte de FNDR, que incluye, construcción, obras civiles, y equipamiento pre-pandemia.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Tienen contemplada una ampliación emplazada en el ex vertedero municipal. - El principal cuello de botella se encuentra en la cuadrilla, máquinas tienen una compactadora muy pequeña por lo que todo el trabajo es mayoritariamente manual. - Se ha evaluado la instalación de pelletización pero no han encontrado compradores de pellets. - En cuanto a residuos orgánicos: las empresas lecheras juntan los purines en un hoyo provocando un foco de malos olores y aparición de vectores (ratas, moscas, etc). - Residuos inorgánicos: cintas de riego, plásticos agrícolas, invernadero, fardos para vaca, entre otros. Actualmente se queman o entierran. No existen valorizadores, el único era REVALORA, pero el cobro es alto y las empresas no están dispuestas a pagar.
Centro de Transferencia Intermedio	Luis Caldera	15 Nov	<ul style="list-style-type: none"> - El CTI está funcionando a capacidad completa en relación a la falta de personal y trabas administrativas de la municipalidad. - El CTI tendría capacidad para recibir todos los residuos de la comuna (industriales y domiciliarios), e incluso de otras comunas por lo que no habría necesidad de una ampliación de la planta. - Se reciben residuos de puntos limpios urbanos y rurales, y recolección directa a empresas

Fuente: Elaboración propia

- **Información recabada desde APLs disponibles del sector.**

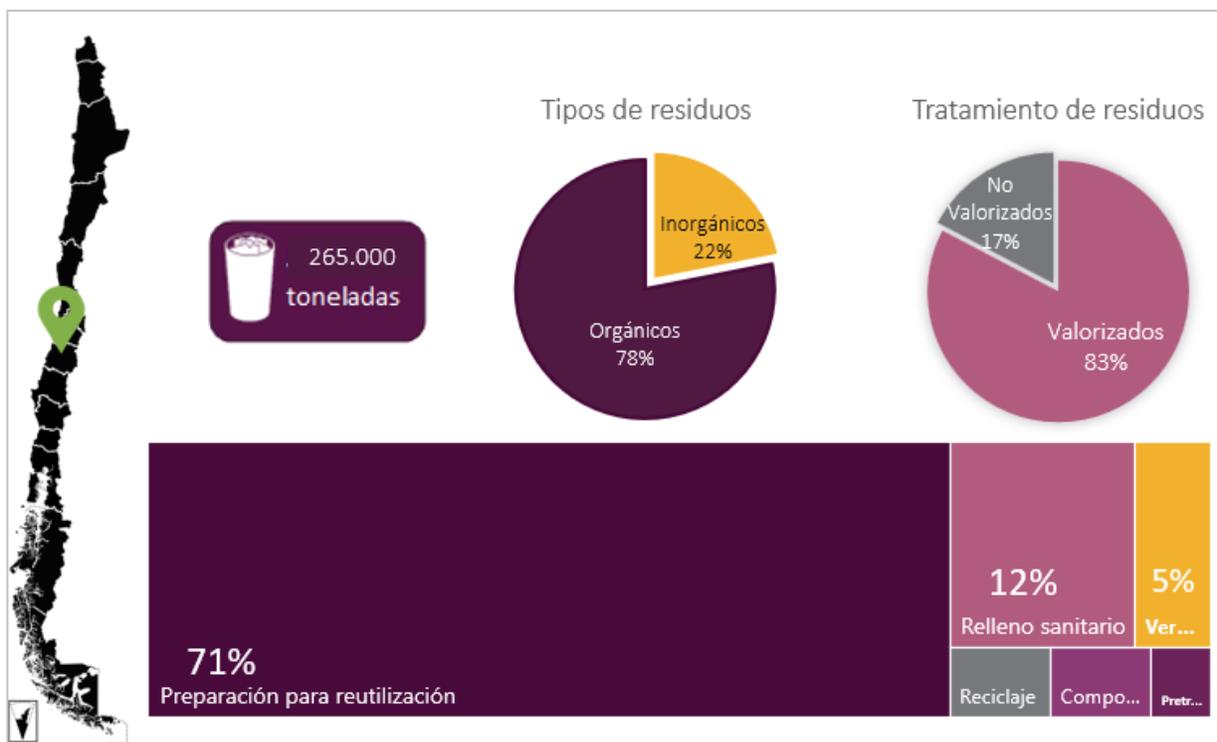
Región/Comuna	Sector productivo	Documento	Información importante
Casablanca	Productores de Vino	Diagnóstico Sectorial y Propuesta APL	<ul style="list-style-type: none"> - Al año 2020 el sector vitivinícola generó un total de 15.808 toneladas de residuos sólidos, el 93% de estos corresponde a residuos orgánicos, 7% a residuos sólidos no peligrosos y un 0,3% a residuos sólidos peligrosos. - Del total informe de 1.073 toneladas de residuos sólidos no peligrosos, 782 toneladas corresponden a residuos asimilables a domésticos, 264 toneladas corresponden a la categoría de reciclables, identificándose en esta categoría papeles y cartones, vidrios, metálicos, plásticos, madera, neumáticos y latas. En una tercera categoría se agrupan los residuos industriales cuya generación fue de 27 toneladas. - El sector tiene un potencial de valorización de residuos sólidos no peligrosos de un 24,6%. Las instalaciones que cuentan con mayor generación de residuos y potencial de valorización son las que cuentan con salas de envasado, ya que en estas se generan significativas cantidades de cartones, plásticos y vidrio. Dentro de la categoría de residuos reciclables se identificó que los 3 tipos de residuos que tienen un mayor volumen de generación son vidrio, cartones y plásticos. - Los principales residuos orgánicos declarados por el sector son escobajo y orujo, poda, lodos, residuos de vendimia y borras. Los que generan mayor volumen corresponden a poda 42%, 35% a escobajo y orujo, en un tercer lugar se ubica el lodo con un 20% del total declarado. En menores volúmenes residuos de vendimia y borras. - En cuanto a la disposición de los residuos orgánicos, se identificaron, como prácticas, mayoritariamente la incorporación al suelo y el compostaje para el escobajo y orujo, poda y residuos de la vendimia. Los lodos y borras son dispuestos por empresas autorizadas.

Región/Comuna	Sector productivo	Documento	Información importante
			- Con respecto a los residuos industriales líquidos, el 59% de las aguas de lavado son dispuestas en infiltración a suelo, un 35% se utiliza en riego y sólo un 6% se eliminan en alcantarillado particular.

Fuente: Elaboración propia

11.2 Anexo 2: Región del Maule

- Estadísticas de producción y valorización de residuos en la región (RETC).



Fuente: Elaboración propia

- Listado de empresas contactadas para completar cuestionarios para el levantamiento de información.

Empresa/ Institución/ Programa	Representante	Estado
Agrizano	Antonio Barrera	Sin respuesta
Productos Fernández	Carlos Zamorano	<p>Cuestionario respondido</p> <ul style="list-style-type: none"> - PF no tiene una estrategia de economía circular ni mandato corporativo, pero ha implementado iniciativas de economía circular o valorización de residuos en los últimos años. - Para los residuos municipales, las principales barreras son tecnológicas ya que sus residuos se pueden almacenar en algunas ocasiones solamente debido a la cantidad de materia orgánica. - No encuentran valorizadores para los diversos tipos de materiales. - No tienen una caracterización exacta de los residuos no valorizados, pero en general, son materiales de embalaje,

Empresa/ Institución/ Programa	Representante	Estado
		<p>materias primas, insumos y empaques. Además de mermas de proceso como envases primarios, entre otros.</p> <ul style="list-style-type: none"> - El costo de disposición actual es de 2 UF/tonelada. - Los residuos orgánicos corresponden a restos de materias primas que no pueden comercializarse. Hoy los valorizan con una empresa que fabrica harina de carne y hueso, sin costo para PF (ni transporte, ni disposición). - Exploraron la posibilidad de valorizar los residuos como plásticos con Comberplast (polipropileno) pero las pruebas no resultaron positivas. También trabajaron con Répla. Los principales residuos plásticos que se consideraron fueron BOPP además de plásticos multicapas. - El costo de disposición en relleno sanitario (2 UF/ton) representa menos del 1% en relación con los costos totales de la empresa.
Coexca	Carlos Hlousek	Acuerdo de reunión
EcoFood	Max Eckardt	Sin respuesta
Frutícola Olmue	D.Gonzalez C.Toledo	Sin respuesta
Agroindustrial Surfrut	Sebastián Pavéz	Sin respuesta

Fuente: Elaboración propia

- **Reuniones realizadas para el levantamiento de información.**

Empresa/ Institución/ Programa	Representante	Fecha	Principales Hallazgos
SEREMI del Medio Ambiente	Mario Aravena María Vicenta Lobos	20 Sept	<ul style="list-style-type: none"> - Los residuos con mayor potencial de valorización son: residuos de construcción (se declaran poco y se disponen incorrectamente con un bajo porcentaje de valorización), residuos agroindustriales (celulosa, residuos de viñas y cultivos frutales, plásticos agrícolas y pallets), lodos agroindustriales (la mayor parte se disponen en rellenos, pero no se valorizan), y residuos orgánicos que se disponen de manera ilegal. - Ecomaule busca implementar biodigestión, mejoras en compostaje y en lodos. - Empresa de mosca soldado de 20 TPD espera aumentar a 100. - Hay un bajo interés desde las empresas generadoras que hacen poco viable económicamente los proyectos de valorización.
Arauco	Pablo Ramírez de Arellano	27 Sept	<ul style="list-style-type: none"> - Las plantas de Constitución y Licancel se alimentan de biomasa de terceros. - Puede haber valorización del residuo que declare el aserradero. - A la planta de Licancel llegan siempre los mismos residuos correspondientes a cenizas, dregs y lodos. - El DRIS de Constitución es más antiguo y no tiene geomembrana. - Tienen un plan de valorización que se ve afectado por los permisos ambientales (tienen un problema reputacional con la comunidad que les dificulta implementar valorización) y por la baja disponibilidad de valorizadores. - El foco de ayuda para Arauco va enfocado en cenizas y dregs (hoy en día se van a los DRIS).
Territorio Maule Circular	Coté Castañeda	6 Oct	<ul style="list-style-type: none"> - En Maule no hay sitios de disposición final en residuos de la construcción. Hay microbasurales en todas partes. - El 2023 se hará un catastro de residuos de la agricultura. Actualmente no se cuenta con datos (son reacios a entregar información).

Empresa/ Institución/ Programa	Representante	Fecha	Principales Hallazgos
			<ul style="list-style-type: none"> - Hay muchas empresas que no reportan al RETC. El sector turístico no reporta. En la agroindustria sólo las grandes empresas reportan. - FIGS está categorizando iniciativas exitosas (p.ej orujo de vid, cáscara de tomate). - El orujo tiene una importancia fisicoquímica para la producción de superalimentos (alto valor económico justificable).
Magíster en Análisis de Ciclo de Vida en la Construcción	Juan Viveros	6 Oct	<ul style="list-style-type: none"> - Los mayores problemas desde las constructoras son la falta de disponibilidad de valorizadores y la dificultad de segregar en obra. - Existen constructoras que hacen segregación como LD y Echeverría Izquierdo. - Ya se está reciclando la mayor parte del fierro (por su alto valor económico). - La incidencia de retiro de escombros en el presupuesto de una obra es de un 0,02 a 0,6%.
Coexca	Carlos Hlousek Isaí Moya	11 Oct	<ul style="list-style-type: none"> - Los residuos inorgánicos (cartones y plásticos) los gestiona Volta. - Los residuos orgánicos del casino se entregan (sin costo) a una empresa que hace el tratamiento con mosca soldado negro. - Cuentan con un biodigestor que alimentan sólo con purines de la empresa. - El único residuo que hoy en día no están valorizando es el guano porque no han encontrado el nicho para vender el abono.

Fuente: Elaboración propia

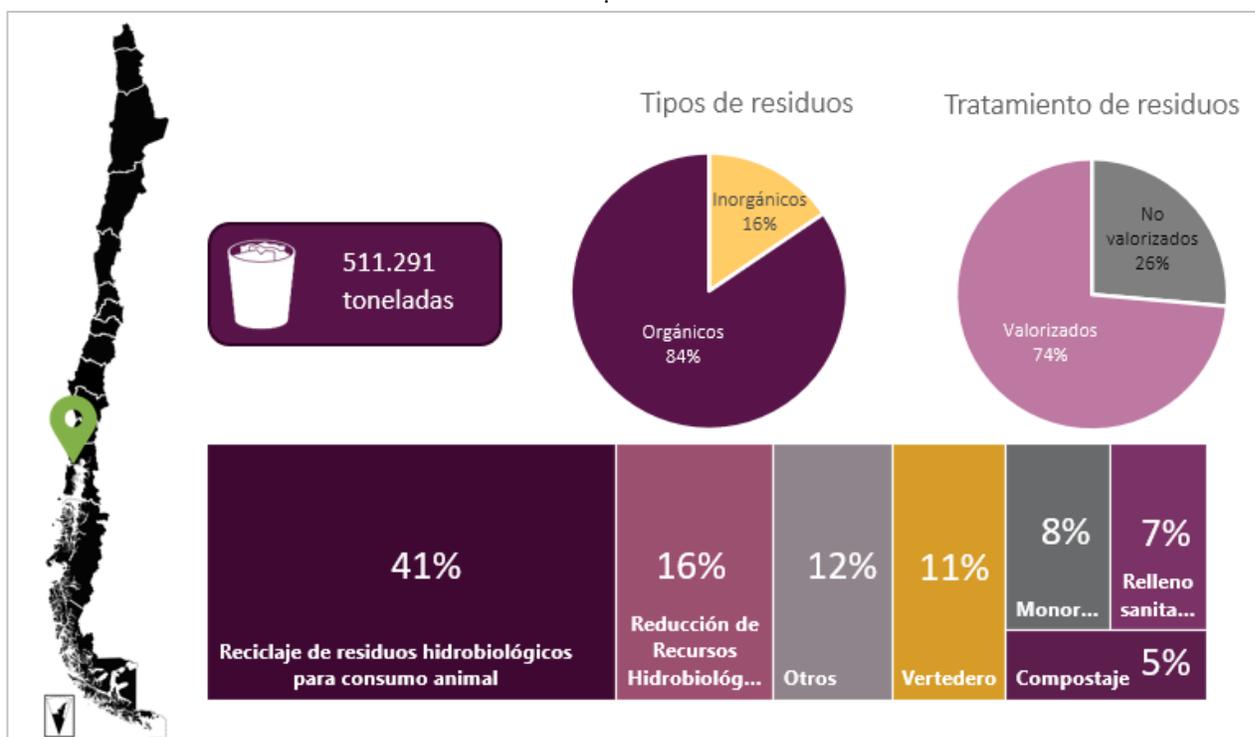
- **Información recabada desde APLs disponibles del sector.**

Región/Comuna	Sector productivo	Documento	Información importante
Maule	Industria Forestal	Acuerdo de Producción Limpia	<ul style="list-style-type: none"> - El consumo de leña es una potente oportunidad para las iniciativas de manejo de bosques, y mejor aún para el establecimiento de manejo sustentable por la vía de ordenación forestal. - La región posee unas 581.515 hectáreas de bosques con potencial productivo y unas 360 mil hectáreas de monocultivos principalmente de pino y eucalipto. - Las cifras de inventarios de gases de efecto invernadero de INFOR, indican que la región tiene unos 133,5 millones de toneladas de CO₂e almacenadas, en unos 81 m³ por hectáreas de madera. No obstante, existe una fuerte dinámica de deforestación y degradación de los bosques.

Fuente: Elaboración propia

11.3 Anexo 3: Región de Los Lagos

- Estadísticas de producción y valorización de residuos en la región (RETC).



Fuente: Elaboración propia

- Reuniones realizadas para el levantamiento de información.

Empresa/ Institución/ Programa	Representante	Fecha	Principales Hallazgos
SEREMI Medio Ambiente	Bárbara Herrera Catalina Rivera	20 Sept	<ul style="list-style-type: none"> - En Chiloé no hay sitios de disposición final industrial (todos cerrados). - Los residuos más problemáticos corresponden a residuos acuícolas (conchillas principalmente) y todo tipo de residuo industrial (sobre todo RO) en la isla de Chiloé. No existe gestión de residuos. - Otros residuos problemáticos son los metales (con alto potencial de valorización), vidrio (mayormente a nivel municipal, existe un solo gestor informal y no hay resolución sanitaria), plumavit de las boyas (el porcentaje sobre el total de residuos industriales es muy bajo) y los cabos (existen empresas que los valorizan). - Considerar la industria de la construcción.
Intesal	Ximena Rojas Esteban Ramírez	3 Oct	<ul style="list-style-type: none"> - Gran parte de los residuos orgánicos se encuentra en la mortalidad generada, recortes de procesos y lodos. - Se destacan 2 lodos principalmente (lodos de plantas de procesos y lodos de tratamiento de las pisciculturas). - Parte importante de estos residuos orgánicos se valorizan en plantas terciarias como plantas de insumo de alimentos para animales (aceites para viscosidad de petróleo, pintura, entre otros).

Empresa/ Institución/ Programa	Representante	Fecha	Principales Hallazgos
			<ul style="list-style-type: none"> - La principal problemática es estandarizar dentro de la industria la manera en que se declara el tipo de residuo. Las empresas hacen una clasificación distinta para un mismo residuo. - Los residuos inorgánicos que son un problema para la industria corresponden a plásticos, plumavit, ductos de alimentación, flotadores y redes de cultivo. - Una de las barreras es la frecuencia con que cambia el equipo a nivel de gobierno (cada 4 años).
CChc Osorno y Puerto Montt	María Francisca Sanz Andrés Angulo Nicolas Salvo Paola Tuchie Carolina Suber Joscelyn Miranda Wilma Muñoz	4 Oct	<ul style="list-style-type: none"> - En Puerto Varas se está instalando una planta de separación, valorización y disposición final. - En Concepción hay una planta que recibe residuos de la construcción. - Los principales residuos que tienen potencial de valorización son la madera, cartón, papel, fierros y plásticos. - Las mayores barreras de este tipo de residuos son la segregación (falta cultura), la inexistencia de cuantificación de residuos de manera segregada, y la poca competitividad que representan debido a que no se pueden procesar volúmenes muy grandes. - Según CDT un 85-90% de los residuos podrían ser reciclables, pero no existe un lugar donde se puedan separar y acumular.
Comberplast	Michel Compagnon	4 Oct	<ul style="list-style-type: none"> - Reciben mallas, redes y boyas de dos tipos (polietileno y polietileno rellena con poliestireno). - Volumen de 150 toneladas de material y 90 toneladas en promedio (70 toneladas de la Región de Los Lagos). - Están construyendo una planta de acopio y pretratamiento en Puerto Montt (300 TPA con un objetivo de 5000 TPA) y Aysén. - Existe un stock muy grande de redes acumulado de 30 años.
Ecoprial	Raul Albretch	6 Oct	<ul style="list-style-type: none"> - Existen dos tipos de lodos en la industria salmonera: los lodos de planta de proceso y lodos de piscicultura de agua dulce. - No se puede construir una planta de biodigestión de solo lodos de agua salada por su principal problema de inhibición de bacterias metanogénicas. - Los lodos se pueden compostar, pero existe el problema de los patógenos. - No hay problema con los patógenos si es para digestato para suelos degradados, pero no para cultivos crudos. Para que sea aplicable para dichos cultivos, el lodo se debe higienizar. - Existe una sobredemanda, sobretodo en Chiloé.
Consortio Lechero	Natalie Jones	7 Oct	<ul style="list-style-type: none"> - Cuentan con información de 14 plantas procesadoras, pero la información no está verificada. - Falta innovación en relación con el plástico. - Todos los valores son confidenciales y no pueden ser utilizados en este estudio.
PER Mitilicultura	Javier Aros	11 Oct	<ul style="list-style-type: none"> - Se producen 128.000 TPA de residuos orgánicos que no sólo incluyen conchas. - Proponer una nueva planta no es factible. - El mayor problema es sacar la carne de las conchas, y en segundo lugar, el manejo de olores en las plantas. - La principal necesidad es un diagnóstico que genere una base de datos sólida que permita impulsar iniciativas. - Se puede utilizar la información, pero no está validada.
Cal Austral	James Muspratt Jördis Winniewski	12 Oct	<ul style="list-style-type: none"> - Está operando con stock acumulado. - Posee una capacidad de 50.000 TPA de conchillas. - Según su estimación hay una producción de máximo 90.000 ton/año de conchillas, por lo que ya se tendría la capacidad técnica para recibir la totalidad de las conchillas producidas por mitilicultura. - Aproximadamente un 10% de las conchillas se descarta por su contenido de materia orgánica, que supera los límites permitidos. Esos van a disposición final.

Empresa/ Institución/ Programa	Representante	Fecha	Principales Hallazgos
Cal Agro	Sebastián Santander	14 Oct	<ul style="list-style-type: none"> - Tienen permitido producir 50.000 TPA de carbonato de calcio, pero actualmente están produciendo entre 34.000 a 35.000 TPA. - Actualmente reciben 38.000 toneladas de conchillas porque no les daba la capacidad para procesar mayor cantidad. Por esa razón instalaron un tercer molino que va a estar operativo el 2023 y ahí van a poder completar la capacidad según su RCA. - Están al 90-95% de capacidad. - Estiman que en la zona se producen entre 90.000 y 110.000 TPA de conchillas por lo que se confirma que ya se tendría la capacidad técnica para recibir la totalidad de las conchas producidas por mitilicultura.
Wenco	Jean Recule	26 oct	<ul style="list-style-type: none"> - Existe una capacidad instalada para el reciclaje de plásticos en la región de Los Lagos y es un mercado bastante copado. Hay más de 5 empresas recicladoras, entre ellas PPP, Greenspot Resiter, Mundo Sur y Ecofibras. El mayor cuello de botella para el rubro es el precio del flete de las boyas desde su lugar de descarte al lugar de reciclaje, sin embargo, algunas de las empresas recicladoras están asumiendo ese costo. - Hay una mala disposición de parte de la industria para incorporar elementos que tengan una fracción de plástico reciclado por problemas técnicos, de calidad y confianza en el material. - En la región se llevan al mar cerca de 6000 TPA de boyas hechas de plástico PE virgen, que se renuevan en un periodo de 5 a 10 años, por lo que es un residuo del que vale la pena hacerse cargo. Respecto a la posibilidad de vender productos hechos de plástico reciclado, destaca la necesidad de fosas sépticas y mangueras para acuicultura principalmente. Sin embargo, no se alcanza a aprovechar en la región la totalidad de plástico reciclado, por lo que actualmente se lleva a Santiago en forma de pellet. - Las boyas de plástico reciclado no serían compradas por los riesgos de falla del material.

Fuente: Elaboración propia

- **Información recabada desde APLs disponibles en la Región de Los Lagos.**

Sector productivo	Documento	Información relevante
Industria Salmonera	Diagnóstico Sectorial y Propuesta APL	<ul style="list-style-type: none"> - El diagnóstico para el Acuerdo de Sustentabilidad y Economía Circular se realizó a partir de las empresas socias de Salmón Chile pertenecientes al sector de productores y piscicultura, sumando un total de 19 empresas participantes que representan el 80% de las empresas del sector. - Desde el 2018 se tiene en el Congreso Nacional un proyecto de ley que reconoce la necesidad de retirar los residuos inorgánicos y recuperar los fondos marinos afectados por residuos orgánicos. - Existen 34.159 toneladas de residuos compuestos por ensilajes, recortes, esquelones, lodos, orgánicos, humus, RISES, reciclaje y RESPEL. - La clasificación de los residuos utilizando el sistema LER disponible en RETC no permite tener certeza del tipo de residuo que se declara. - Los principales residuos inorgánicos generados en el proceso de los salmones provienen de la piscicultura, centros de engorda y plantas de proceso. - El 50% de la valorización actual de residuos inorgánicos del sector se realiza en Santiago. - El objetivo de la asesoría se alinea con las metas de Salmon Chile para su estrategia de economía circular.
Consorcio Lechero	Diagnóstico Sectorial y Propuesta APL	<ul style="list-style-type: none"> - Los plásticos representan un 2% de la generación de residuos inorgánicos en las 18 plantas industriales consideradas en el estudio. - Los principales residuos no peligrosos cuantificados (65.069 toneladas) corresponden a lodos (29.250 toneladas). - Aproximadamente 15.210 toneladas de lodos no se están valorizando. - El 71% de las plantas no ha realizado estudios de valorización de lodos.

- De acuerdo con la información entregada por el 50% de las plantas, se calculó que la generación de residuos no peligrosos por litro de leche recepcionada en promedio fue de 0,021 (kg residuos/litros de leche recepcionada), con un rango entre 0,008 y 0,070 (kg residuos/litros de leche recepcionada).

Fuente: Elaboración propia

11.4 Anexo 4: Entrevista a otros actores importantes

Además de las entrevistas realizadas por región, el 4 de octubre se sostuvo una reunión con Antonia Biggs, Gerente General de la Asociación Nacional de la Industria del Reciclaje (ANIR) desde donde se obtuvo la siguiente información:

- Los residuos inorgánicos con potencial de valorización que tienen identificados son las boyas plásticas y los residuos inorgánicos de acuicultura (estructuras de flotación, tubos de alimentación de HDPE, entre otros).
- Los residuos orgánicos con potencial de valorización son en un 98% de la Agroindustria y en un 2% de HORECA (hoteles, restaurantes, catering).
- Armony es el mayor valorizador (10.000 toneladas/mes).
- Existe una sobreoferta de residuos orgánicos.
- Las principales barreras para generar proyectos regionales son los permisos sectoriales (SEIA) y los Acuerdos Voluntarios de Preinversión Temprana (AVP).

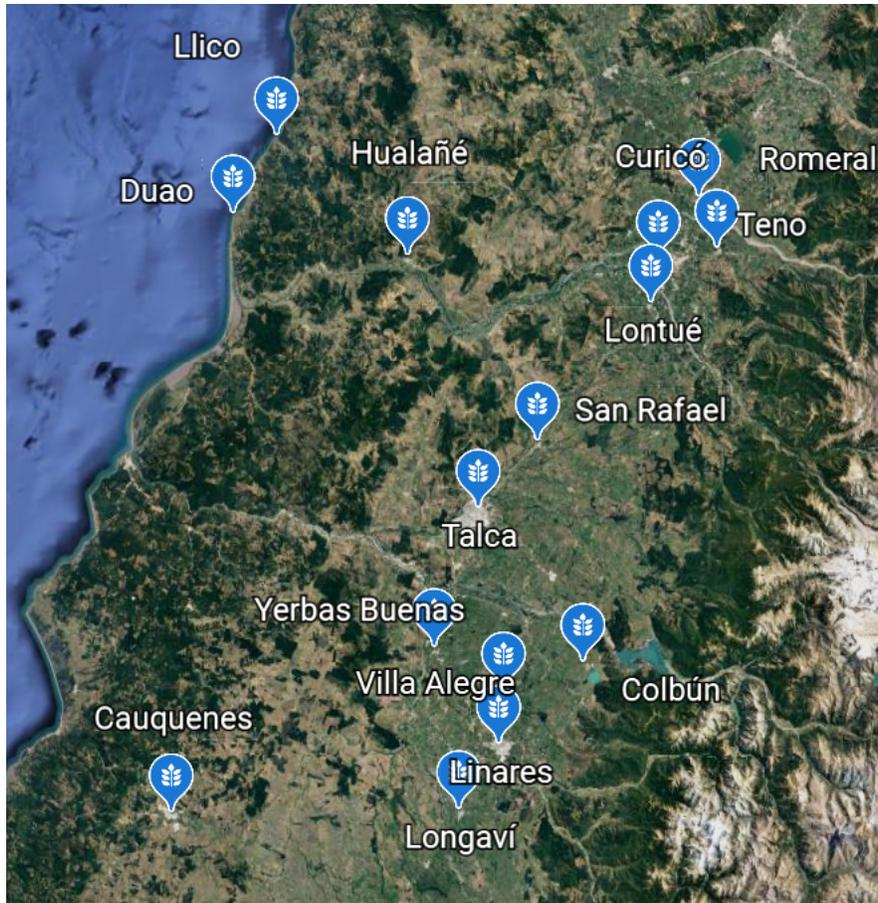
11.5 Anexo 5: Ubicación Planta de Compostaje Región del Maule

- Según Directorio de Empresas Agroindustriales de la Región del Maule (Maule Alimenta 2022)

Nombre de la Empresa	Localidad
Abeja Dorada	Talca
AFE	Teno
Agrícola La Campana	Longaví
Agroindustrial Arados	Hualañé
Agua Quitral	Curicó
Andes Wisdom	Colbún
Andifoods	Linares
Bear Berry	Linares
Blanca Marti	Llico
Casanegra	Colbún
Casona Araggi	Curicó
Copramar	Yerbas Buenas
Dabú Healthy Life	Cauquenes
Delifrut	Duao
Diamond Hemp	Villa Alegre
El Recodo	Romeral
Frucol	Teno
Fruselva América	Maule
Frutos del Maipo	Linares
Furku	Talca
Garbo	Curicó
Innovagreen	Lontué
Kri Cri Food	Linares
Kurü-Ko	Curicó
PF Alimentos	Talca
PureFruit	Romeral
RocoFruit	Romeral
Sabores del Mataquito	Lora
San Clemente Foods	Talca
SurFruit	Romeral

Nombre de la Empresa	Localidad
Terraída	San Rafael

Fuente: Elaboración propia



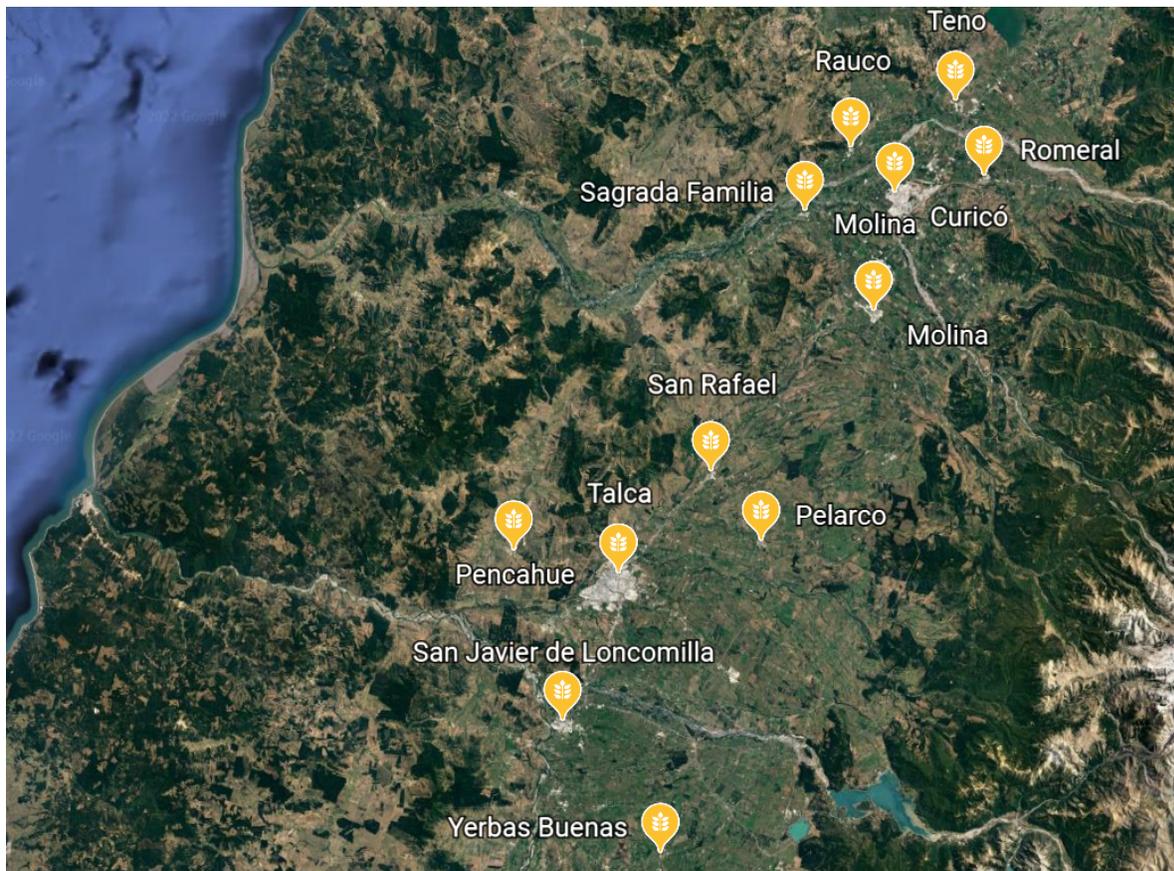
Fuente: Elaboración propia

- De acuerdo a RETC:

Razón Social	Comuna
AGRICOLA COEXCA S.A.	San Javier
AGRICOLA GONZALEZ LIMITADA	Yervas Buenas
AGRICOLA GONZALEZ LIMITADA	Sagrada Familia
AGRICOLA JACQUES Y LORENZINI LTDA	Molina
AGROINDUSTRIAS CEPIA SOCIEDAD ANONIMA	Talca
AURORA AUSTRALIS S.A.	Teno
BODEGA EL MILAGRO S.A.	Curicó
CHILCAS S A	Pelarco
COPEFRUT S A	Romeral
EXPORTACIONES MEYER LIMITADA	Rauco
FRUTAS DE CURICO LIMITADA	Curicó

Razón Social	Comuna
NESTLE CHILE SA	Teno
PRODUCTOS FERNANDEZ SA	Talca
ROBERTO WILIBALDO LEYTON	Sagrada Familia
SOC VINICOLA MIGUEL TORRES SA	Curicó
VINA CONCHA Y TORO S A	Pencahue
VINA CONCHA Y TORO S A	Pencahue
VINA ECHEVERRIA LTDA	Molina
VINA MARQUEZ LIMITADA	Curicó
VINICOLA PATACON SPA	Molina
VITIVINICOLA INVINA LTDA	San Rafael

Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia

11.1 Anexo 6: Detalles de la cuantificación de residuos seleccionados.

- **Residuos orgánicos: vitivinícolas y de elaboración de productos - Valle de Casablanca, Región de Valparaíso**

Para la cuantificación de los residuos orgánicos de Casablanca enviados a disposición final, se utilizó el APL vitivinícola, en donde se disponían de estadísticas del destino de distintos residuos de la industria, e información del RETC.

Actividad productiva	Tipo de residuo	Cantidad (TPA)	Fuente
Vitivinícola	Escobajo y orujo	365	APL vitivinícola
	Poda	535	
Elaboración	Materiales inadecuados para el consumo o la elaboración	416	RETC, 2020
Total		1.316	

Fuente: Elaboración propia

- **Residuos orgánicos: purines y residuos de elaboración de productos - Valle de Casablanca, Región de Valparaíso**

Se identificaron a partir del RETC (2020) 12.159 toneladas de residuos catalogados como Materiales inadecuados para el consumo o la elaboración, que son entregados para aplicación en el suelo y que podrían ser valorizados energéticamente. Con respecto a los purines, se identificaron 3 generadores, con un total de 3.050 vacas. A partir del estudio realizado para el Programa de biogás del sector lechero (ONUDI, 2017), se obtuvo que existe una producción de 35 kg de estiércol diario por vaca, que es diluido en la misma cantidad de agua por lavado y lluvia (Gobierno Regional Región de Los Ríos; INDAP, 2018). De eso solo es posible rescatar el 25%, que es solo cuando las vacas están estabuladas. Con esos supuestos, se llega a 19.482 TPA de purines valorizables.

Ítem	Valor	Fuente
Nº de vacas Agrícola Santa Sara	1.850	Página web Agrícola Santa Sara
Nº de vacas Agrícola El Mirador	600	Entrevista Medio Ambiente Casablanca
Nº de vacas Agrícola Balbotín	600	Entrevista Medio Ambiente Casablanca
Producción de estiércol (kg/d/vaca)	13	(ONUDI, 2017)
Porcentaje de estiércol rescatable	25%	(ONUDI, 2017)
Dilución con aguas de lavado y lluvia	50%	(Gobierno Regional Región de Los Ríos; INDAP, 2018).
Total purines (TPA)	19.482	Cálculo
Materiales inadecuados para el consumo o la elaboración (TresMontes Luchetti) (TPA)	12.159	(RETC, 2020)
Total mezcla Materiales + Purines (TPA)	31.641	Cálculo

Fuente: Elaboración propia

- **Residuos orgánicos: residuos orgánicos agrícolas – Región del Maule**

Para la cuantificación de los residuos orgánicos agrícolas, se obtuvo la superficie plantada de 51 especies vegetales en la región. Luego se obtuvieron tasas de generación de residuos por hectárea para la mayoría de los cultivos. En el cálculo solo se consideró la superficie de los cultivos para los cuales existía información de la tasa de generación de residuos orgánicos. De esta manera, se obtiene que los residuos orgánicos generados anualmente son 970.540 toneladas. Como no existe información sobre el porcentaje que es valorizado, se asume que el 90% es valorizado de alguna, supuesto que se sustenta en que no existe declaración en el sistema. Con esto se obtiene que existen al menos 97.054 toneladas no valorizadas.

El resumen del procedimiento se muestra en la siguiente tabla, en donde se muestran los datos agregados de cada tipo de cultivo:

Tipo de cultivo	Superficie plantada considerada (ha)	Tasa de generación promedio ponderada de residuos orgánicos (ton/ha)	Residuos orgánicos totales generados (TPA)	Fracción de residuos valorizados (%)	Residuos orgánicos no valorizados (TPA)
Frutal	76.374	2,8	212.320	90%	21.232
Hortícola	2.479	1,8	4.364	90%	436
Vitivinícola	52.617	2,8	146.276	90%	14.628
Otros	76.759	7,9	607.581	90%	60.758
Total	208.229	-	970.540	-	97.054
Fuente	(ODEPA, 2020)	Calculado a partir de (Ruiz, Wolff, & Claret, 2015) y (Moreno et al., 2015)	Cálculo	Supuesto	Cálculo

Fuente: Elaboración propia

- **Residuos inorgánicos: plásticos de agricultura – Región del Maule**

Debido a la falta de información sobre la cantidad de residuos no valorizados de este tipo, se realizó una estimación para determinar los residuos que sería posible revalorizar, detallada en la siguiente tabla. En primer lugar, se tomó el consumo de plásticos en Chile y, en particular, del sector agrícola, según un estudio de ASIPLA (2021). Luego se calculó el consumo de plásticos de este sector en el Maule utilizando la proporción del PIB del Maule comparado con el PIB nacional, ambos correspondientes al sector, llegando a 11.903 ton. Los plásticos consumidos, que se desechan rápidamente y por ende corresponderían a la producción de un año, equivalen a un 40% (Mendoza Irrarrázabal, 2017) del consumo. Además, se toma como supuesto que se pueden recuperar y reciclar solo el 30% de los plásticos producidos por temas de contaminación con productos químicos y logística de segregación. Finalmente se tiene que un 59% de los plásticos son quemados o llevados a disposición final, según encuestas realizadas en localidades del Maule (Ministerio del Medio Ambiente, 2018). De esta manera, se llega a que los plásticos del sector agrícola potencialmente valorizables equivalen a 1.428 toneladas en la región del Maule.

Ítem	Valor	Fuente
Consumo de plásticos en Chile 2020 (TPA)	952.755	ASIPLA, 2021 https://www.asipla.cl/wp-content/uploads/2022/08/26_08-Informe-Estadistico-Ano-2021-Resumen-Ejecutivo.pdf
Consumo de plásticos agricultura (%)	8%	ASIPLA, 2021 https://www.asipla.cl/wp-content/uploads/2022/08/26_08-Informe-Estadistico-Ano-2021-Resumen-Ejecutivo.pdf
Consumo de plásticos agricultura (TPA)	76.220	Cálculo
PIB silvoagropecuario Maule 2018 (% de aporte en PIB Chile)	14,58%	Estadísticas Maule, 2020 https://www.odepa.gob.cl/wp-content/uploads/2020/06/Maule-.pdf
Consumo de plásticos agricultura y Maule (TPA)	11.114	Cálculo
Plásticos desechados rápidamente	40%	https://repositorio.usm.cl/bitstream/handle/11673/22995/3560900231903UTFSM.pdf?sequence=1&isAllowed=y
Producción de residuos plásticos agricultura Maule (TPA)	4.445	Cálculo

Ítem	Valor	Fuente
Porcentaje de plástico reciclable y que es posible recuperar (%)	30%	Supuesto
Plásticos agrícolas a disposición final o quema	59%	https://mma.gob.cl/35-toneladas-de-plasticos-agricolas-se-logro-recuperar-durante-campana-en-zona-rezagada/
Plástico potencialmente reciclable Maule (TPA)	1.334	Cálculo

Fuente: Elaboración propia

- **Residuos orgánicos: lodos, restos de tejidos y heces animales – Región de Los lagos**

Se obtuvieron datos del RETC, que arrojaron los resultados explicitados en la siguiente tabla. Cabe destacar que, según el levantamiento de información, se confirmó la existencia de incluso más residuos de este tipo que los que arroja el RETC, sin valorización actual.

Actividad generadora	Tipo de residuo	Residuos no valorizados (TPAT)	Fuente
Acuicultura marina	Lodos del tratamiento in situ de efluentes	13.459	RETC, 2020
	Residuos de tejidos de animales	1.433	
	Lodos de lavado y limpieza	943	
Elaboración y conservación de salmónidos	Residuos de tejidos de animales	8.977	
	Lodos del tratamiento in situ de efluentes	8.705	
	Lodos de lavado y limpieza	1.224	
Acuicultura de agua dulce	Lodos de lavado y limpieza	4.570	
	Heces de animales, orina y estiércol	960	
	Lodos del tratamiento in situ de efluentes	610	
	Residuos de tejidos de animales	19	
Elaboración y conservación de carne	Lodos del tratamiento in situ de efluentes	4.794	
	Lodos de lavado y limpieza	189	
	Residuos de tejidos de animales	2.857	
Elaboración de productos lácteos	Lodos del tratamiento in situ de efluentes	727	
Total		49.467	

Fuente: Elaboración propia

Los principales generadores de estos tipos de residuos, cuyo destino es a disposición final según el RETC (2020), se muestran a continuación. Es necesario considerar que una misma empresa puede tener múltiples plantas generadoras de estos residuos.

Generador	Residuos no valorizados (TPA)	Tipo de residuo
PESQUERA LA PORTADA S.A.	10.230	Lodos, residuos de tejidos animales
MATADERO FRIGORIFICO DEL SUR S.A.	6.861	Lodos, residuos de tejidos animales
SALMONES CAMANCHACA S.A.	4.838	Lodos, residuos de tejidos animales
PRODUCTOS DEL MAR VENTISQUEROS S.A.	2.785	Lodos
CERMAQ CHILE S.A.	2.530	Lodos
CONGELADOS Y CONSERVAS FITZ ROY S.A.	2.084	Lodos
TOTAL	29.328	

Fuente: Elaboración propia

- **Residuos inorgánicos: boyas – Región de Los Lagos.**

Según la conversación con Wenco, se obtuvo que actualmente se venden 6.000 TPA de boyas, las cuales tienen una rotación periódica. Por simplicidad se asume que la acuicultura y miticultura generan 6.000 TPA de polietileno, además de todas las boyas que se encuentran acopiadas mayormente en Chiloé a la espera de ser tratadas o dispuestas. Se asume que solo un 20% de ese valor es factible de recuperar y transportar en un año, dado el alto volumen que implica y lugares de acceso que dificulta la recolección.

11.2 Anexo 7: Información complementaria estimación de emisiones.

- **Compostaje de residuos orgánicos industriales –Valle de Casablanca, Región de Valparaíso**

En la siguiente tabla se muestra un resumen de los parámetros que fueron utilizados para el cálculo del potencial de reducción de emisiones del proyecto, tanto en el proceso de recolección y transporte, como en el tratamiento de los residuos orgánicos.

Parámetros por transporte	Valor	Fuente/ comentario
Factor de emisión por transporte (tCO ₂ e/ton/km)	0,0004689	Se asume que la recolección se realiza en un camión que cumple con las características de un Para Rigid (<7,5 tonnes - 17 tonnes) Average Laden: - Freightng goods: 0,38655 (kgCO ₂ e/ton/km) - WTT - delivery vehs & freight (Well to tank): 0,08238 (kg CO ₂ e/ton/ km) https://www.gov.uk/government/publications/greenhouse-gas-reporting-conversion-factors-2022
Distancia generadores a sitio de disposición final (km)	48,4	Calculado al Relleno Sanitario El Molle.
Distancia generadores a planta de compostaje (km)	4,6	Calculado al sitio propuesto para la implementación del proyecto.
Parámetros por tratamiento	Valor	Fuente/ comentario
Cantidad total de residuos a tratar (TPA)	1.579	Corresponde a la capacidad de la planta.
Fracción de residuos orgánicos frescos (%)	40%	Corresponde a residuos orgánicos como vegetales, frutas, tabaco, entre otros.
Fracción de residuos orgánicos estructurante (%)	60%	Corresponde a restos de poda y jardín.
Fracción de CH ₄ capturada a el sitio de disposición final de residuos sólidos (%)	25%	Debido a que el Relleno Sanitario El Molle cuenta con una central de energía renovable no convencional, se asume un porcentaje de captura del 25%.
Factor de corrección del metano (-)	1,00	Corresponde a un relleno sanitario.
Temperatura media anual (°C)	13,6	https://es.climate-data.org/americadel-sur/chile/v-region-de-valparaiso/valparaiso-1005664/
Precipitación media anual (mm)	345	https://es.climate-data.org/americadel-sur/chile/v-region-de-valparaiso/valparaiso-1005664/
Evapotranspiración potencial (mm ³ /mm ²)	1018,3	https://bibliotecadigital.ciren.cl/bitstream/handle/20.500.13082/9303/CNR-0029_1.pdf?sequence=1&isAllowed=y
Factor de emisión de la red (tCO ₂ e/MWh)	0,4056	http://energiaabierta.cl/visualizaciones/factor-de-emision-sic-sing/
Sistema de luces y enchufes (kW)	1	Estimación simple, considera solo uso de electricidad tipo "doméstica" (luces, cargadores de teléfonos, uso de radio o reproducción de música, hervidor, microondas, horno).
Horas de uso de electricidad en la instalación (hrs/año)	3.129	Equivalente a 12 horas por día, 5 días por semana.
Consumo de combustible en maquinarias (L/año)	9.797	Estimado.

Fuente: Elaboración propia

- **Digestión anaeróbica de residuos orgánicos industriales –Valle de Casablanca, Región de Valparaíso**

Parámetros por transporte	Valor	Fuente/ comentario
Factor de emisión por transporte (tCO ₂ e/ton/km)	0,0004689	Se asume que la recolección se realiza en un camión que cumple con las características de un Para Rigid (<7,5 tonnes - 17 tonnes) Average Laden: - Freightng goods: 0,38655 (kgCO ₂ e/ton/km) - WTT - delivery vehs & freight (Well to tank): 0,08238 (kg CO ₂ e/ton/ km) https://www.gov.uk/government/publications/greenhouse-gas-reporting-conversion-factors-2022
Distancia generadores a sitio de disposición (km)	0	Se disponen en los mismos predios.
Distancia generadores a planta de compostaje (km). Promedio ponderado.	7	Calculado al sitio propuesto para la implementación del proyecto.
Parámetros por tratamiento	Valor	Fuente/ comentario
Cantidad total de residuos a tratar (TPA)	32.464	Corresponde a la capacidad de la planta.
Sólidos totales purines (%)	6,75%	Promedio 13,5% para estiercol. Con un 50% de dilución con agua los TS de los purines serían 6,75%. https://biogaslechero.minenergia.cl/wp-content/uploads/2018/06/Guia-Biogas-sector-lechero-2018.pdf
Tasa de producción de biogás purines (m ³ /t purines)	25%	https://biogaslechero.minenergia.cl/wp-content/uploads/2018/06/Guia-Biogas-sector-lechero-2018.pdf
Contenido de metano en biogás (%)	62,5%	Promedio 55% a 70%. https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/131621/Analisis-de-factibilidad-tecnica-y-economica-de-la-generacion-de-biogas-a-partir-de-purines-mediante-biodigestores-anaerobios.pdf?sequence=1
Fracción de carbono orgánico degradable en purines	1,8%	Calculado según metodología
Factor de corrección del metano (-)	0,4	Corresponde a acopio en sitios no gestionados de profundidad menor a 5 metros.
Tasa de descomposición anual purines	6%	Calculado según metodología
Temperatura media anual (°C)	13,7	https://es.climate-data.org/america-del-sur/chile/v-region-de-valparaiso/casablanca-21754/
Precipitación media anual (mm)	488	https://snia.mop.gob.cl/sad/SUB5779.pdf
Evapotranspiración potencial (mm ³ /mm ²)	1121	https://issuu.com/agrimed_uchile/docs/atlas_evapotranspiracion
Parámetros energéticos	Valor	Fuente/ comentario
Factor de emisión de la red (tCO ₂ e/MWh)	0,4056	http://energiaabierta.cl/visualizaciones/factor-de-emision-sic-sing/
Eficiencia CHP	42%	Valor reportado por experto
Autoconsumo de energía eléctrica y pérdidas	19%	Estimado.
Horas de operación de la planta al año	6.260	Correspondiente para una operación de 313 días al año, 20 horas al día

Fuente: Elaboración propia

- **Compostaje de residuos orgánicos industriales – Región del Maule**

En la siguiente tabla se muestra un resumen de los parámetros que fueron utilizados para el cálculo del potencial de reducción de emisiones del proyecto, tanto en el proceso de recolección y transporte, como en el tratamiento de los residuos orgánicos.

Parámetros por transporte	Valor	Fuente/ comentario
Factor de emisión por transporte (tCO ₂ e/ton/km)	0,0004689	Se asume que la recolección se realiza en un camión que cumple con las características de un Para Rigid (<7,5 tonnes - 17 tonnes) Average Laden: - Freightng goods: 0,38655 (kgCO ₂ e/ton/km) - WTT - delivery vehs & freight (Well to tank): 0,08238 (kg CO ₂ e/ton/ km) https://www.gov.uk/government/publications/greenhouse-gas-reporting-conversion-factors-2022
Distancia generadores a sitio de disposición final (km)	21,5	Calculado al Relleno Sanitario El Molle.
Distancia generadores a planta de compostaje (km)	7,6	Calculado al sitio propuesto para la implementación del proyecto.
Parámetros por tratamiento	Valor	Fuente/ comentario
Cantidad total de residuos a tratar (TPA)	116.466	Corresponde a la capacidad de la planta.
Fracción de residuos orgánicos frescos (%)	40%	Corresponde a residuos orgánicos como vegetales, frutas, tabaco, entre otros.
Fracción de residuos orgánicos estructurante (%)	60%	Corresponde a restos de poda y jardín.
Fracción de CH ₄ capturada a el sitio de disposición final de residuos sólidos (%)	0%	Se asume que actualmente no hay captura de biogás.
Factor de corrección del metano (-)	1,00	Corresponde a un relleno sanitario.
Temperatura media anual (°C)	1,00	Corresponde a un relleno sanitario.
Precipitación media anual (mm)	21	http://hikersbay.com/climate-conditions/chile/talca/clima-entanca.html?lang=es
Evapotranspiración potencial (mm ³ /mm ²)	850	http://hikersbay.com/climate-conditions/chile/talca/clima-entanca.html?lang=es
Factor de emisión de la red (tCO ₂ e/MWh)	0,4056	http://energiaabierta.cl/visualizaciones/factor-de-emision-sic-sing/
Sistema de luces y enchufes (kW)	1	Estimación simple, considera solo uso de electricidad tipo "doméstica" (luces, cargadores de teléfonos, uso de radio o reproducción de música, hervidor, microondas, horno).
Horas de uso de electricidad en la instalación (hrs/año)	3.129	Equivalente a 12 horas por día, 5 días por semana.
Consumo de combustible en maquinarias (L/año)	202.443	Estimado.

Fuente: Elaboración propia

- **Reciclaje de plásticos industriales – Región del Maule y Los Lagos**

Parámetros	Valor	Fuente/ comentario
Cantidad total de residuos a tratar Maule (TPA)	1.600	Corresponde a la capacidad de la planta.
Cantidad total de residuos a tratar Los Lagos (TPA)	1.200	Corresponde a la capacidad de la planta.
Porcentaje de plástico de HDPE (%)	50%	Supuesto.
Porcentaje de plástico de LDPE (%)	50%	Supuesto.
Factor de degradación del plástico	0,75	Por defecto según metodología.
Factor de consumo de electricidad para plástico virgen HDPE (MWh/t)	0,83	Por defecto según metodología.
Factor de consumo de electricidad para plástico virgen LDPE (MWh/t)	1,67	Por defecto según metodología.
Reducción de emisiones por diferencia en el transporte de residuos	-	Por defecto según metodología.
Factor de emisión de la red (tCO ₂ e/MWh)	0,4056	http://energiaabierta.cl/visualizaciones/factor-de-emision-sic-sing/

Fuente: Elaboración propia

- **Digestión anaeróbica de residuos orgánicos industriales –Valle de Casablanca, Región de Los Lagos**

Parámetros por transporte	Valor	Fuente/ comentario
Factor de emisión por transporte (tCO ₂ e/ton/km)	0,0004689	Se asume que la recolección se realiza en un camión que cumple con las características de un Para Rigid (<7,5 tonnes - 17 tonnes) Average Laden: - Freightng goods: 0,38655 (kgCO ₂ e/ton/km) - WTT - delivery vehs & freight (Well to tank): 0,08238 (kg CO ₂ e/ton/ km) https://www.gov.uk/government/publications/greenhouse-gas-reporting-conversion-factors-2022
Distancia generadores a sitio de disposición (km). Promedio ponderado	270	Calculado en base a la ubicación de los principales generadores hacia los sitios de disposición final declarados en el RETC.
Distancia generadores a planta de compostaje (km). Promedio ponderado	30	Calculado al sitio propuesto para la implementación del proyecto.
Parámetros por tratamiento	Valor	Fuente/ comentario
Cantidad total de residuos a tratar (TPA)	50.753	Corresponde a la capacidad de la planta.
Sólidos totales (%).	78,73%	Promedio para todos los residuos. Diversas fuentes bibliográficas.
Tasa de producción de biogás purines (m ³ /t VS digeridos). Promedio para todos los residuos.	508	Promedio para todos los residuos. Diversas fuentes bibliográficas.
Contenido de metano en biogás (%)	60%	Promedio para todos los residuos. Por defecto.
Fración de carbono orgánico degradable.	4,8%	Promedio para todos los residuos. Calculado según metodología.
Factor de corrección del metano - estimación pesimista (-)	0,5	Corresponde a sitios de disposición final manejados de manera semi-aeróbica.
Factor de corrección del metano - estimación optimista (-)	1	Corresponden a sitios de disposición final manejados de manera anaeróbica.
Tasa de descomposición anual	18,5%	Promedio para todos los residuos. Calculado según metodología.
Temperatura media anual (°C)	10,6	https://www.tutiempo.net/clima/ws-857990.html
Precipitación media anual (mm)	1200	https://www.tutiempo.net/clima/ws-857990.html
Evapotranspiración potencial (mm ³ /mm ²)	809	https://issuu.com/agrimed_uchile/docs/atlas_evapotranspiracion
Parámetros energéticos	Valor	Fuente/ comentario
Factor de emisión de la red (tCO ₂ e/MWh)	0,4056	http://energiaabierta.cl/visualizaciones/factor-de-emision-sic-sing/
Eficiencia generador CHP	42%	Valor reportado por experto
Autoconsumo de energía eléctrica y pérdidas	19%	Estimado.
Horas de opección de la planta al año	6.260	Correspondiente para una operación de 313 días al año, 20 horas al día

Fuente: Elaboración propia