



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA, BIOTECNOLOGÍA Y
MATERIALES

**EVALUACIÓN ECONÓMICA Y SOCIOAMBIENTAL DE UNA PLANTA DE
TRATAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS EN LA COMUNA
DE ANCUD**

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERA CIVIL EN BIOTECNOLOGÍA

CAROLINA ANDREA BURGOS PEÑA

PROFESOR GUÍA:
Felipe Díaz Alvarado

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
Álvaro Olivera Nappa
Gerardo Canales González

SANTIAGO DE CHILE
2022

RESUMEN DE LA MEMORIA PARA OPTAR
AL TÍTULO DE INGENIERA CIVIL
EN BIOTECNOLOGÍA
POR: CAROLINA ANDREA BURGOS PEÑA
FECHA: 2022
PROF. GUÍA: FELIPE DÍAZ ALVARADO

EVALUACIÓN ECONÓMICA Y SOCIOAMBIENTAL DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS EN LA COMUNA DE ANCUD

En el último siglo, el crecimiento acelerado de la población, la urbanización y el nivel de consumo han tenido como consecuencia una generación cada vez mayor de residuos. En Chile, existe una baja tasa de valorización de los residuos y se disponen en vertederos y rellenos sanitarios. En particular, la disposición inadecuada de los residuos sólidos orgánicos (RSO) tiene impactos ambientales, sociales y económicos como, por ejemplo, la emisión de gases de efecto invernadero (GEI). Actualmente, cerca del 75 % de los GEI emitidos por el sector residuos sólidos son generados en la disposición final de los RSO. La gestión incorrecta de los residuos es un problema que se agrava en zonas rurales y con baja conectividad terrestre, debido a la diferencia de ingresos que tienen los distintos municipios del país. De esta forma, y en vista de la crisis sanitaria y ambiental que se vive actualmente en la Isla de Chiloé, el presente trabajo tiene como objetivo evaluar la factibilidad económica, social y ambiental del tratamiento de residuos orgánicos en una planta de compostaje en la comuna de Ancud.

En la evaluación ambiental, se estiman las emisiones de GEI en las situaciones con y sin proyecto con la metodología del Mecanismo de Desarrollo Limpio, y se obtiene que las emisiones de GEI son reducidas en un 85 % al año 2041. En la evaluación privada se elabora un flujo de caja, considerando los costos de inversión, operación e ingresos por venta y una tasa de descuento de un 12 %, para dos escenarios. El primero, contempla el financiamiento completo del proyecto con capital propio mientras que el segundo, asume el subsidio de la inversión por parte del Estado. Los resultados muestran que el proyecto no es rentable para ninguno de los dos escenarios, con un VAN de \$ -2.406 y \$ -369 MCLP, respectivamente. El análisis de sensibilidad indica que el segundo escenario tiene una rentabilidad positiva cuando se aumenta el precio de venta del compost en un 30 %. En la evaluación social, se aplica la metodología del Ministerio de Desarrollo Social y Familia y se determinan los beneficios y costos sociales del proyecto, obteniendo como resultado un VAN positivo de \$ 2.947 MCLP, utilizando una tasa social de descuento del 6 %.

Por otro lado, al analizar el trabajo realizado, se evidencia que el enfoque costo-beneficio en la evaluación de proyectos no es suficiente como instrumento de apoyo a la toma de decisiones y se sugiere utilizar otras herramientas que abarquen todas las dimensiones del proyecto, tales como el análisis de ciclo de vida y el análisis multicriterio.

Se concluye que es factible la realización del proyecto, al tener una rentabilidad social positiva y generar beneficios para la sociedad y medioambiente. Se requiere el apoyo del Estado mediante subsidios, para fortalecer el atractivo del proyecto y mejorar su rentabilidad privada. Así, se recomienda seguir a una etapa posterior de ingeniería básica del proyecto.

*A mi familia.
Gracias por tanto.*

Tabla de Contenido

1. Introducción	1
1.1. Objetivos	2
1.1.1. Objetivo general	2
1.1.2. Objetivos específicos	2
1.1.3. Alcances	2
2. Marco Teórico	3
2.1. Los residuos	3
2.1.1. Definición y clasificación de los residuos	3
2.1.2. Generación y composición de los residuos	4
2.1.3. Gestión de los residuos sólidos municipales en Chile	6
2.1.3.1. Inequidad en materia de gestión municipal de residuos	7
2.1.4. Gestión integral de residuos sólidos	8
2.1.5. Evolución de la política ambiental en relación a la gestión integral de residuos	9
2.2. Compostaje	10
2.2.1. Etapas del proceso de compostaje	10
2.2.2. Factores que afectan el proceso de compostaje	11
2.2.3. Tipos de compostaje	12
2.2.3.1. Sistemas Abiertos	12
2.2.3.2. Sistemas Cerrados	13
2.2.4. Normativa compost	13
2.3. Evaluación de proyectos	14
2.3.1. Evaluación Privada	15
2.3.2. Evaluación Social	15
2.3.2.1. Proyectos de valorización de residuos	15
2.3.3. Diferencias entre la evaluación privada y social	16
2.3.4. Indicadores de rentabilidad de proyectos	16
2.3.4.1. Valor Actual Neto	16
2.3.4.2. Tasa Interna de Retorno	16
3. Antecedentes	18
3.1. Descripción del problema	18
3.2. Caracterización de la comuna de Ancud	19
3.2.1. Geografía	19
3.2.2. Población	19
3.2.3. Actividad económica	20

3.2.4.	Residuos	20
3.2.4.1.	Generación de residuos sólidos municipales	20
3.2.4.2.	Caracterización de los residuos sólidos municipales domiciliarios	21
3.2.4.3.	Gestión de los residuos sólidos domiciliarios	21
3.2.4.4.	Residuos sólidos orgánicos	22
3.3.	Descripción del proyecto: valorización de residuos orgánicos en Ancud	22
3.3.1.	Localización de la planta	23
3.3.2.	Selección de tecnología a utilizar	23
3.3.3.	Capacidad de la planta de compostaje	24
4.	Metodología	27
4.1.	Evaluación Ambiental	27
4.2.	Evaluación Privada	30
4.3.	Evaluación Social	32
5.	Evaluación Ambiental	33
5.1.	Discusión	34
6.	Evaluación Privada	36
6.1.	Inversión	36
6.2.	Costos	36
6.3.	Ingresos	37
6.4.	Análisis de factibilidad económica	37
6.4.1.	Escenario 1: Proyecto sin subsidio	37
6.4.2.	Escenario 2: Proyecto con subsidio	38
6.4.3.	Análisis de sensibilidad	38
6.5.	Discusión	39
7.	Evaluación Social	42
7.1.	Inversión	42
7.2.	Costos	42
7.3.	Beneficios	43
7.4.	Externalidades	44
7.5.	Análisis de Factibilidad	44
7.5.1.	Indicadores de rentabilidad	44
7.5.2.	Análisis de sensibilidad	44
7.6.	Discusión	45
8.	Reflexiones Generales	47
8.1.	Trabajo realizado	47
8.1.1.	Otras herramientas de apoyo para la toma de decisiones	48
8.1.1.1.	Análisis de Sostenibilidad de Ciclo de Vida	49
8.1.1.2.	Análisis Multicriterio	49
8.1.1.3.	Integración de las herramientas	50
8.2.	Recomendaciones	51
9.	Conclusiones	52

Bibliografía	54
Anexos	61
A. Caso de Estudio	61
A.1. Datos poblacionales de la comuna de Ancud	61
A.2. Masa de residuos orgánicos producidos	62
B. Evaluación Ambiental	63
B.1. Emisiones de GEI en la situación sin proyecto	63
B.2. Emisiones de GEI en la situación con proyecto	64
B.3. Reducción de emisiones de GEI	65
C. Evaluación Privada	66
C.1. Inversión	66
C.2. Costos	68
C.3. Ingresos	69
C.4. Depreciación	70
C.5. Flujo de caja escenario 1	71
C.6. Flujo de caja escenario 2	72
D. Evaluación Social	73
D.1. Corrección a precios sociales	73
D.2. Inversión	74
D.3. Costos	76
D.4. Beneficios	77
D.5. Externalidades	78
D.6. Flujo de caja social	79

Índice de Tablas

2.1.	Rangos óptimos de los parámetros que afectan al compostaje	11
2.2.	Límites NCh 2.880	14
2.3.	Beneficios, costos y externalidades considerados en la metodología	15
3.1.	Producción de RSM 2014-2019 en Ancud	21
3.2.	Tasas de participación y captura del proyecto	25
3.3.	Capacidad de tratamiento de la planta de compostaje	26
4.1.	Componentes del flujo de caja privado	31
4.2.	Componentes del flujo de caja social	32
6.1.	Inversión del proyecto	36
6.2.	Costos del proyecto	37
6.3.	Costo por tonelada de residuo orgánico valorizado en la planta de compostaje .	37
6.4.	Ingresos del proyecto	37
6.5.	Indicadores de rentabilidad económica para el escenario 1	38
6.6.	Indicadores de rentabilidad económica para el Escenario 2	38
7.1.	Inversión del proyecto, ajustada a precios sociales	42
7.2.	Costos del proyecto, ajustados a precios sociales	43
7.3.	Costo por tonelada de residuo orgánico valorizado en la planta de compostaje .	43
7.4.	Beneficios del proyecto	43
7.5.	Externalidades del proyecto	44
7.6.	Indicadores de rentabilidad social del proyecto	44
A.1.	Estimación y proyección de la población de la comuna de Ancud	61
A.2.	Masa de residuos orgánicos producidos en la zona urbana de Ancud	62
B.1.	Emisiones de GEI producidas en la situación sin proyecto	63
B.2.	Emisiones de GEI producidas en la situación con proyecto	64
B.3.	Emisiones de GEI reducidas por la implementación del proyecto	65
C.1.	Detalle de la inversión del proyecto para el año 0	66
C.2.	Detalle de la inversión del proyecto para el año 6	67
C.3.	Detalle de la inversión del proyecto para el año 12	67
C.4.	Detalle de la inversión del proyecto para el año 18	67
C.5.	Detalle de los costos del proyecto entre los años 1 y 6	68
C.6.	Detalle de los costos del proyecto entre los años 7 y 12	68
C.7.	Detalle de los costos del proyecto entre los años 13 y 18	68
C.8.	Detalle de los costos del proyecto entre los años 19 y 20	69
C.9.	Ingresos por venta de compost entre los años 1 y 6	69
C.10.	Ingresos por venta de compost entre los años 7 y 12	69
C.11.	Ingresos por venta de compost entre los años 13 y 18	69
C.12.	Ingresos por venta de compost entre los años 19 y 20	69
C.13.	Depreciación para la inversión 1 del proyecto	70

C.14.	Depreciación para la inversión 2 del proyecto	70
C.15.	Depreciación para la inversión 3 del proyecto	70
C.16.	Depreciación para la inversión 4 del proyecto	70
C.17.	Flujo de caja privado entre los años 0 y 6 del proyecto, escenario 1	71
C.18.	Flujo de caja privado entre los años 7 y 13 del proyecto, escenario 1	71
C.19.	Flujo de caja privado entre los años 14 y 20 del proyecto, escenario 1	71
C.20.	Flujo de caja privado entre los años 0 y 6 del proyecto, escenario 2	72
C.21.	Flujo de caja privado entre los años 7 y 13 del proyecto, escenario 2	72
C.22.	Flujo de caja privado entre los años 14 y 20 del proyecto, escenario 2	72
D.1.	Factores de corrección de ajuste a precios sociales	73
D.2.	Precios sociales utilizados	73
D.3.	Inversión del proyecto para el año 0, en precios sociales	74
D.4.	Inversión del proyecto para el año 6, en precios sociales	75
D.5.	Inversión del proyecto para el año 12, en precios sociales	75
D.6.	Inversión del proyecto para el año 18, en precios sociales	76
D.7.	Costos del proyecto entre los años 1 y 6, en precios sociales	76
D.8.	Costos del proyecto entre los años 7 y 12, en precios sociales	76
D.9.	Costos del proyecto entre los años 13 y 18, en precios sociales	77
D.10.	Costos del proyecto entre los años 19 y 20, en precios sociales	77
D.11.	Beneficios del proyecto entre los años 1 y 6	77
D.12.	Beneficios del proyecto entre los años 7 y 12	77
D.13.	Beneficios del proyecto entre los años 13 y 18	78
D.14.	Beneficios del proyecto entre los años 19 y 20	78
D.15.	Externalidades generadas por el proyecto entre los años 1 y 6	78
D.16.	Externalidades generadas por el proyecto entre los años 7 y 12	78
D.17.	Externalidades generadas por el proyecto entre los años 13 y 18	78
D.18.	Externalidades generadas por el proyecto entre los años 19 y 20	78
D.19.	Flujo de caja social entre los años 0 y 6 del proyecto	79
D.20.	Flujo de caja social entre los años 7 y 13 del proyecto	79
D.21.	Flujo de caja social entre los años 14 y 20 del proyecto	79

Índice de Ilustraciones

2.1.	Clasificación de los residuos	4
2.2.	Clasificación de los residuos en Chile en el año 2018	5
2.3.	Distribución de residuos sólidos domiciliarios para la Región de Los Lagos, de Atacama y Metropolitana	5
2.4.	Distribución de ingresos propios municipales en 2018	7
2.5.	Jerarquía en el manejo de residuos sólidos	8
2.6.	Fases del compostaje	11
2.7.	Diagrama de bloques del proceso de compostaje	12
3.1.	Ubicación de la comuna de Ancud	19
3.2.	Estimación y proyección de la población de la comuna de Ancud	20
3.3.	Composición porcentual de los residuos domiciliarios en la comuna de Ancud	21
3.4.	Diagrama y límite de batería del proyecto	23
3.5.	Esquema de una pila de compostaje con aireación forzada y membrana semi-permeable	24
3.6.	Masa de residuos orgánicos vegetales tratados en la planta de compostaje	25
5.1.	Emisiones netas de CO_2 equivalente en la situación con y sin proyecto	33
6.1.	Variación del VAN con respecto a la variación del precio del compost	39
7.1.	Variación del VAN con respecto	45
8.1.	Integración de LCSA y AHP para la toma de decisiones	50

Capítulo 1

Introducción

En el último siglo, el crecimiento acelerado de la población, la urbanización y el nivel de consumo han tenido como consecuencia una generación cada vez mayor de residuos. Actualmente, se producen cerca de 2,01 billones de toneladas anuales de residuos sólidos municipales, cifra que se espera que aumente a 3,40 billones para el año 2050 [1].

Los grandes volúmenes de residuos producidos constituyen a un problema mundial, que afecta a todos los seres vivos del planeta. Se estima que más del 33% de los residuos son gestionados de forma incorrecta a nivel global [1], lo cual tiene diversos impactos ambientales, sociales y económicos, tales como la contaminación de los océanos, los suelos y la atmósfera, la transmisión de enfermedades a través de vectores, el deterioro estético del paisaje, la disminución del turismo, entre otros [1][2].

En particular, los residuos sólidos orgánicos corresponden a más de la mitad de los residuos sólidos generados por la población. La disposición inadecuada de estos residuos puede llegar a ser perjudicial tanto para la salud de las personas como para el medioambiente, principalmente debido a la liberación de gas metano. Se estima que en 2016 se generaron 1,6 billones de toneladas de dióxido de carbono equivalente ($CO_2 - eq$), lo cual consituye al 5% de las emisiones globales de gases de efecto invernadero. Si no existen mejoras del escenario actual, se prevee que las emisiones a nivel mundial alcanzarán un 2,60 billones de toneladas de $CO_2 - eq$ para el año 2050 [1].

En Chile, el principal problema asociado a los residuos se relaciona con su baja valorización, puesto a que éstos son enviados, en su gran mayoría, a vertederos y rellenos sanitarios [3]. A medida que la atención y preocupación por el cambio climático ha ido en aumento, se ha buscado potenciar la creación de iniciativas que reduzcan el volumen de residuos enviados a este tipo de sitios [4]. En este sentido, existe una oportunidad de mitigación de los gases de efecto invernadero al desviar los residuos orgánicos de los sitios de disposición final [2].

Una forma de aprovechar los residuos orgánicos y disminuir su impacto es su tratamiento mediante el proceso de compostaje, un método que permite degradar la materia orgánica a través de microorganismos y producir compost, un fertilizante natural que aporta nutrientes y mejora la calidad de los suelos [4].

El presente trabajo está enfocado en la comuna de Ancud, ubicada en la Isla de Chiloé, Región de Los Lagos, a partir de la crisis sanitaria y ambiental que se vive actualmente en la Isla, debido a la falta de sitios de disposición final que cuenten con la normativa sanitaria vigente. De esta forma, este estudio se centra en la evaluación económica y socioambiental de una planta de compostaje, utilizando la metodología de evaluación privada y social de proyectos.

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo general

Evaluar la factibilidad económica, social y ambiental de una planta de tratamiento de residuos orgánicos en la comuna de Ancud, mediante la metodología de evaluación privada y social de proyectos.

1.1.2. Objetivos específicos

- Cuantificar la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero asociadas a la ejecución del proyecto.
- Evaluar de forma privada la planta de tratamiento de residuos orgánicos.
- Evaluar de forma social la planta de tratamiento de residuos orgánicos, con la metodología del Ministerio de Desarrollo Social y Familia.
- Analizar críticamente los resultados obtenidos.

1.1.3. Alcances

En el presente trabajo se realiza una evaluación económica, social y ambiental de una planta de tratamiento de residuos orgánicos en la comuna de Ancud, que consta de los siguientes aspectos:

- La evaluación se efectúa exclusivamente para la zona urbana de la comuna de Ancud.
- Los residuos que se consideran para la evaluación corresponden a los residuos orgánicos vegetales generados por los habitantes de la comuna en sus domicilios y a aquellos residuos orgánicos provenientes del manejo del arbolado urbano. No se incluyen aquellos generados por el sector industrial, HORECA, y otros similares.
- La evaluación ambiental abarca solamente las emisiones de gases de efecto invernadero producidas directamente por la disposición y tratamiento de los residuos orgánicos, excluyendo las emisiones que ocurren “aguas arriba” en la cadena de valorización (producción y consumo de alimentos, transporte de los residuos orgánicos, entre otros). Tampoco se consideran las emisiones asociadas a la construcción de la infraestructura y cierre del proyecto.
- Para la evaluación económica y social del proyecto se deja fuera el diseño preciso de los equipos del proceso de compostaje y de la planta, quedando pendiente para una siguiente etapa.

Capítulo 2

Marco Teórico

2.1. Los residuos

2.1.1. Definición y clasificación de los residuos

Los residuos, desechos o comúnmente llamados basura, son sustancias u objetos que están destinados a ser eliminados o valorizados y pueden ser clasificados de acuerdo a su tipo, estado de agregación o su origen [5]. Según su tipo, existen los residuos peligrosos, no peligrosos e inertes; según su estado de agregación, se tienen los residuos sólidos, líquidos y gaseosos, mientras que según su origen están los residuos industriales (que incluyen los residuos silvoagropecuarios, mineros, de la construcción, entre otros), hospitalarios y los residuos sólidos municipales o urbanos (RSM o RSU) [6]. Dentro de los RSM están los residuos sólidos domiciliarios y los asimilables (RSDyA), los cuales son los residuos generados por las personas como producto de las actividades domésticas y comerciales que, debido a su composición, resultan similares a las primeras. Dentro de los asimilables, también se incluyen los residuos derivados del aseo de vías públicas, manejo de áreas verdes y playas (Figura 2.1). Los RSM están compuestos por materiales orgánicos como excedentes de comida, cartón, papel y madera, e inorgánicos como vidrio, plástico y metales [6][2].

Los residuos sólidos orgánicos (RSO) corresponden a la fracción biodegradable de los residuos sólidos, los cuales provienen tanto de los domicilios (frutas, verduras, césped, hojas) y del manejo de arbolado urbano (restos de podas, ramas y troncos) como de grandes generadores de residuos tales como hoteles, restaurantes, casinos y cafeterías (HORECA) [6][7].

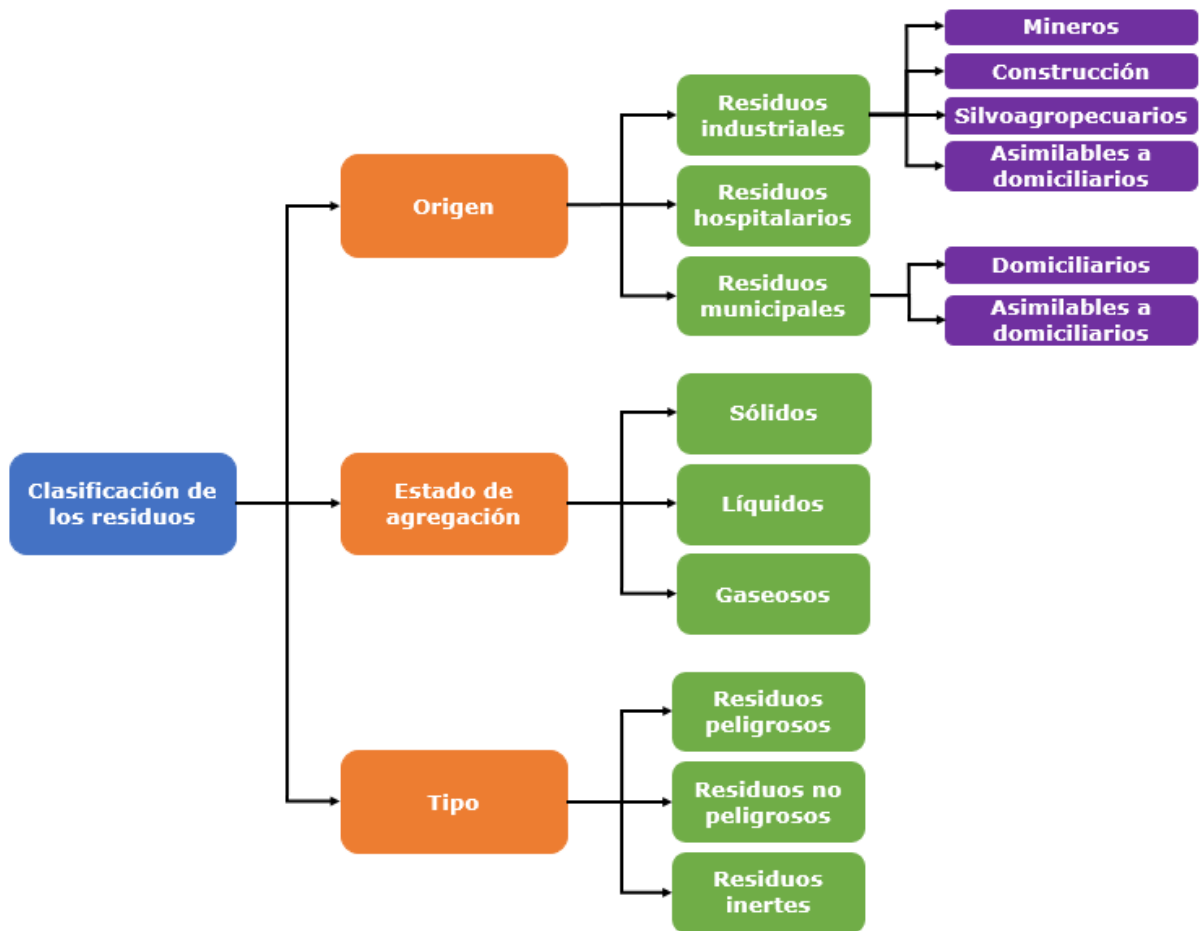


Figura 2.1: Clasificación de los residuos. Fuente: Elaboración propia en base a [5].

2.1.2. Generación y composición de los residuos

En la actualidad, la generación de residuos se debe principalmente al modelo de producción y consumo lineal existente, donde se extraen, producen, consumen y eliminan recursos para satisfacer las necesidades de las personas [3]. La masa de residuos generados puede variar de acuerdo a distintos factores, como el estilo de vida, el nivel de consumismo de la población y de las actividades económicas que se desarrollen en una región en particular [6].

En Chile, se produjeron cerca de 19,6 millones de toneladas de residuos en el año 2018, donde un 97 % corresponden a residuos no peligrosos (Figura 2.2.a). De ellos, el 55 % son de origen industrial, el 43 % son residuos sólidos municipales y el resto (2 %) son lodos provenientes de Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas (PTAS) (Figura 2.2.b) [3].

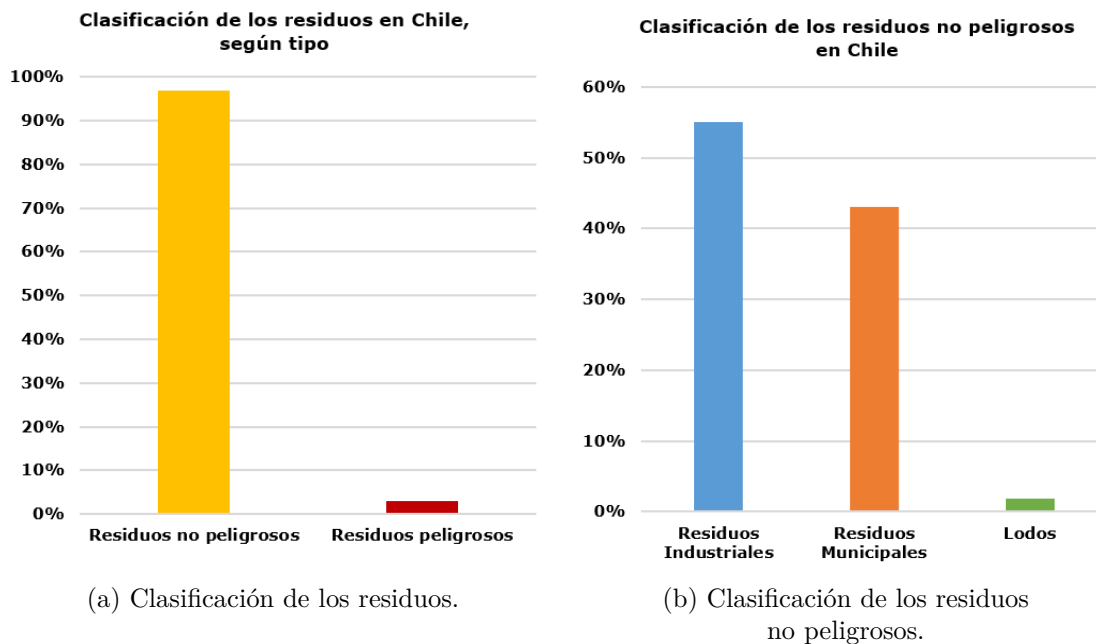


Figura 2.2: Clasificación de los residuos en Chile en el año 2018. Fuente: Elaboración propia en base a los datos entregados en [3].

Respecto a los residuos sólidos municipales, su composición varía de acuerdo a los mismos factores mencionados anteriormente, principalmente por el nivel de ingreso de la población. Esto se refleja en el porcentaje de materia orgánica presente en los residuos, que puede variar entre un 75 % para los países con bajos ingresos a un 36 % para los países con altos ingresos [8]. En Chile, los RSO representan alrededor del 50 % de los residuos municipales domiciliarios manejados por las municipios de Chile, lo cual se puede ver a continuación:

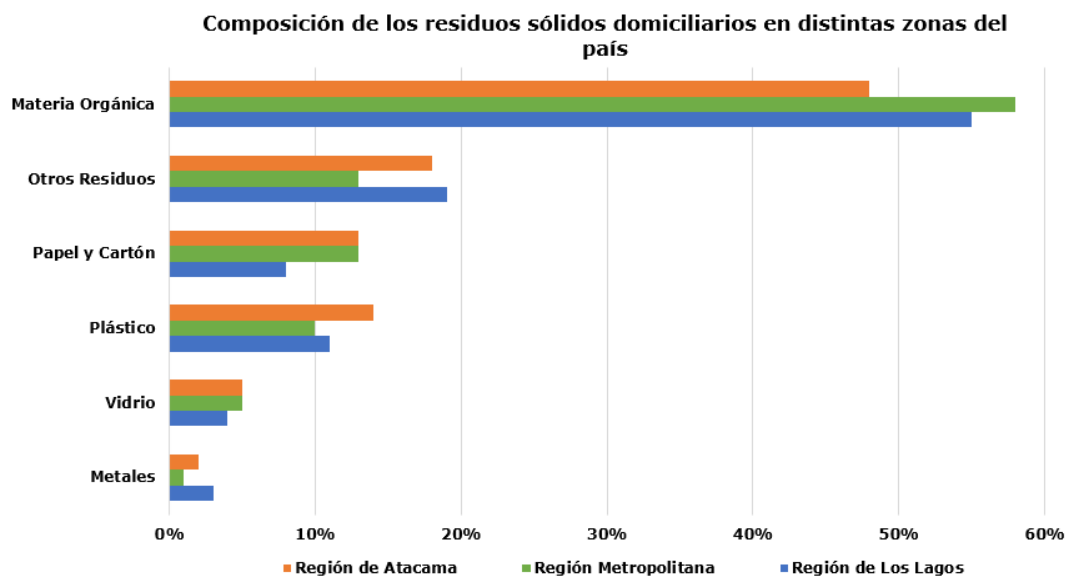


Figura 2.3: Distribución de residuos sólidos domiciliarios para la Región de Los Lagos, de Atacama y Metropolitana. Fuente: Elaboración propia en base a los datos entregados en [6].

2.1.3. Gestión de los residuos sólidos municipales en Chile

En Chile, la gestión de los RSM es de responsabilidad exclusiva de cada uno de los municipios del país e incluye la recolección, transporte y disposición de éstos en sitios de disposición final [9]. Para la disposición final de residuos sólidos existen tres tipos de sitios: los basurales, que son sitios donde los residuos son dispuestos de forma programada o espontánea, y no poseen ningún tipo de control sanitario ni protección ambiental; los vertederos, que son lugares que sí fueron planificados para la disposición final de residuos, pero que no cuentan con las medidas sanitarias presentes en el Decreto Supremo N°189/2008; y los rellenos sanitarios, que son instalaciones diseñadas y operadas específicamente para minimizar los riesgos a la salud y seguridad de la población y daños al medio ambiente, de acuerdo con la normativa vigente [9][10].

Tradicionalmente, las políticas de gestión de residuos sólidos se han centrado en los aspectos sanitarios de la disposición final, es decir, en el diseño apropiado de rellenos sanitarios y su correcta operatividad, la normalización de vertederos y planes de cierre de sitios de disposición inadecuados. Sin embargo, en los últimos años, se ha evidenciado una escasez de territorios para la construcción de nuevos rellenos sanitarios, debido a los diversos conflictos socioambientales que éstos generan. Además, la mayoría de éstos ya alcanzaron o cuentan con pocos años más de vida útil, y su construcción puede tardar hasta 10 años [4].

De acuerdo con la información reportada el año 2018 por la Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo (SUBDERE), el 96,5 % de los RSM son dispuestos en sitios de disposición final y el porcentaje restante corresponde a reciclaje (1,71 %) y a otras alternativas de valorización (1,76 %), como compostaje o digestión anaerobia, las cuales aún se encuentran en un desarrollo incipiente [9].

La baja tasa de valorización de los residuos se debe, por un lado, a la falta de capacidades técnicas por parte de los municipios y recursos para implementar y ejecutar este tipo de proyectos, además de que la gran parte de las municipalidades que poseen iniciativas de valorización no las declaran, debido a que esta labor es realizada por terceros y no cuentan dicha información [3][4].

La gestión inadecuada de los residuos sólidos orgánicos produce múltiples impactos negativos hacia la salud humana y el medio ambiente, como la proliferación de vectores sanitarios y propagación de enfermedades, malos olores, generación de lixiviados, contaminación del agua, aire y suelo, y producción de gases de efecto invernadero (GEI) [2]. Estos últimos se producen a través de la liberación de gas metano a la atmósfera, debido a la descomposición anaeróbica de los residuos orgánicos cuando se disponen en basurales, vertederos y rellenos sanitarios [4]. En la actualidad, el sector residuos sólidos representa el 3,3 % de los GEI en el país, donde el 74,2 % de estas emisiones son generadas en la disposición de los residuos municipales e industriales en sitios de disposición final [11].

De esta forma, el impulso de la valorización de los residuos sólidos orgánicos es clave para mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero asociados al sector residuos sólidos.

2.1.3.1. Inequidad en materia de gestión municipal de residuos

Como se mencionó anteriormente, la legislación vigente asigna responsabilidad total del manejo de los RSM a las municipalidades del país, desde su recolección hasta su disposición final, incluyendo el establecimiento de tarifas y exenciones [9].

Las vías de financiamiento que tienen los municipios para cumplir con sus obligaciones son a través de ingresos propios permanentes o mediante el Fondo Común Municipal (FCM). Dentro de los ingresos propios permanentes están los impuestos territoriales, patentes comerciales, derechos de aseo, entre otros [12]. En la Figura 2.4, se muestra la distribución de los ingresos propios municipales, donde se puede ver que los derechos de aseo representan solamente un su 5% de éstos.

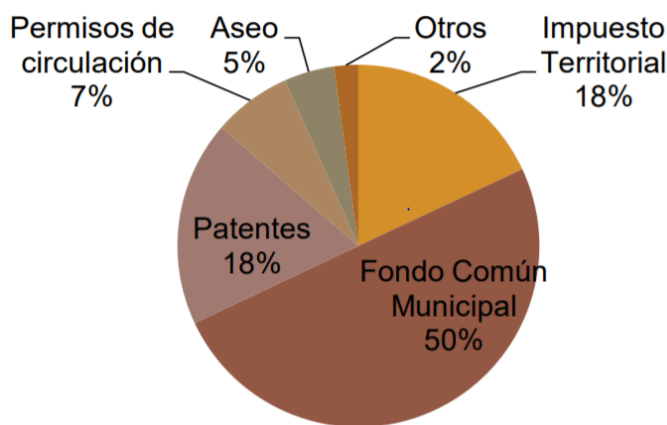


Figura 2.4: Distribución de ingresos propios municipales en 2018. Fuente: [12]

La fuente legal para el cobro de los derechos de aseo municipal se encuentra en el Decreto de Ley N°3.063 sobre Rentas Municipales, donde se establecen los fundamentos generales para el cobro por el servicio de recolección de residuos. De acuerdo a esta Ley, los municipios son los responsables de definir los montos a cobrar e incluso pueden realizar un cobro diferenciado para la gestión de los residuos municipales [12][13]. Sin embargo, en la práctica, se ha optado por mantener una tarifa de aseo municipal fija e igualitaria para todos los habitantes de la comuna, independiente los residuos generados. Lo anterior desvincula al usuario de su responsabilidad con los residuos producidos y desincentiva la reducción, recuperación, reutilización o reciclaje de éstos [14].

Actualmente, existe una alta tasa de exención de pago de tarifa de aseo; se estima que en 140 comunas del país más del 90% de las unidades habitacionales están exentas del pago de esta tarifa, y en 61 casos, la exención total de pago es del 100%. Esto hace que los municipios deban recaudar dinero mediante las otras vías disponibles para la gestión de los RSM [13]. No obstante, hay una amplia brecha entre los ingresos propios permanentes que recauda cada comuna, siendo la diferencia de dinero per cápita de 25 veces aproximadamente entre el municipio con más y menos recursos en la Región Metropolitana [15], lo cual se replica a lo largo del país. De esta forma, la mayoría de los municipios deben utilizar recursos del FCM, a modo de subsidio, para poder garantizar la sustentabilidad financiera del sistema de gestión de residuos [13].

Según la información levantada por la SUBDERE en 2017, los municipios chilenos recaudaron y gastaron un total de 110 y 369 mil millones de pesos, respectivamente, en servicios de aseo y gestión de RSM, generando así un déficit municipal de 259 mil millones de pesos. Solo 11 de los 345 municipios del país recaudan un porcentaje de derechos de aseo suficientes para financiar el sistema [9].

Por otro lado, como cada territorio presenta un contexto distinto, cada comuna maneja sus residuos de forma diferente. En las comunas de mayor tamaño, existen empresas privadas encargadas de entregar los servicios señalados anteriormente, por lo que el rol que cumplen los municipios, en este caso, es de la contratación del servicio a la empresa más eficiente. En comunas medianas y pequeñas, por otro lado, las municipalidades deben asumir un rol más activo en la gestión de los residuos, debido a que el menor volumen que se genera desincentiva a los privados a prestar servicios de recolección y transporte hacia el sitio de disposición final [16].

Así, es necesario solucionar los desafíos que enfrentan las distintas municipalidades, en primer lugar, antes de proponer e implementar correctamente iniciativas de valorización de residuos.

2.1.4. Gestión integral de residuos sólidos

La gestión integral de residuos sólidos es un enfoque estratégico de manejo de residuos para controlar la generación, segregación, almacenamiento, recolección, transporte, recuperación y eliminación de residuos sólidos de manera sostenible y en armonía con la salud pública, economía, estética y medio ambiente, y que también responde a las expectativas públicas. En ésta se promueve el principio de jerarquía en la gestión de residuos, cuyo principal propósito es evitar su generación, para luego minimizar su masa a través de la reducción, reutilización y reciclaje, y dejando como última opción su disposición final [2]. En la Figura 2.5 se muestra la jerarquización:

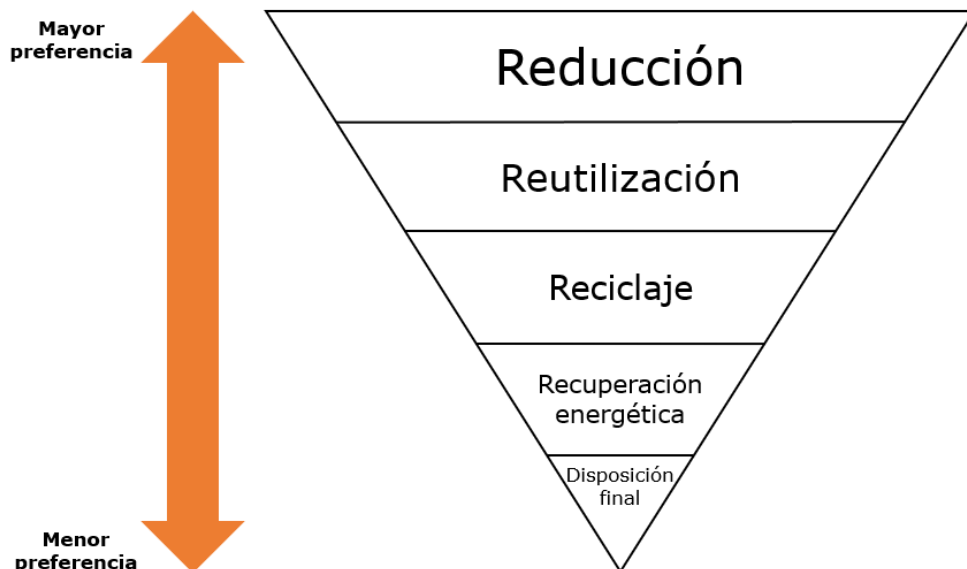


Figura 2.5: Jerarquía en el manejo de residuos sólidos. Fuente: Elaboración propia en base a [17].

2.1.5. Evolución de la política ambiental en relación a la gestión integral de residuos

En el año 2005, se crea la Política de Gestión Integral de Residuos Sólidos, donde se establece la necesidad de contar con una gestión integral de residuos a nivel país, como forma de mejorar el manejo de residuos y así, minimizar los riesgos para la salud de la población y el medio ambiente [18][19]. Posteriormente, surge el Programa Nacional de Residuos Sólidos (PNRS) en 2007, cuyo objetivo es la implementación de sistemas integrales de gestión de residuos en las diferentes regiones y comunas de Chile, disponiendo y administrando fondos para ello, prestando capacitación y asesoría técnica a los municipios [18][20]. Luego, en 2010, Chile ingresa a la Organización de Cooperación para el Desarrollo Económico (OCDE), lo que obliga al país a mejorar la legislación e institucionalidad ambiental, elevando los estándares de la gestión de residuos [18].

En la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (COP21) del año 2015, bajo el Acuerdo de París, los países participantes se comprometieron a mantener el aumento de la temperatura bajo los 2°C y limitarlo a 1,5°C con respecto a los niveles pre-industriales, a través de las Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional (NDC, por sus siglas en inglés) [21]. En particular, Chile asumió el compromiso de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en un 30 % para el año 2030 [22]. De esta forma, se inician los primeros avances de instrumentos regulatorios para fomentar la prevención de generación de residuos como la promulgación de la Ley N° 20.920 - Marco para la Gestión de Residuos, la Responsabilidad Extendida del Productor y Fomento al Reciclaje en 2016, donde se establecen seis productos prioritarios correspondientes a aceites lubricantes, aparatos eléctricos y electrónicos, baterías, pilas, envases y embalajes, y neumáticos para su reciclaje [23].

En el año 2018, se realiza una actualización a la Política de Gestión Integral de Residuos Sólidos (2005) y nace la Política Nacional de Residuos 2018-2030, donde se establecen las directrices para aumentar la tasa de valorización de residuos hasta un 30 %, entre los años 2018 y 2030 [24]. Sin embargo, queda pendiente la implementación de una estrategia que priorice la jerarquía en la gestión de residuos y, en particular, la valorización de los residuos orgánicos. Paralelamente, en el mismo año, se crea el Programa Reciclo Orgánicos, una iniciativa impulsada por el Gobierno de Canadá, que tiene como objetivo apoyar a Chile con la implementación de su NDC del Acuerdo de París y está enfocado principalmente en la reducción de las emisiones de gas metano producido por la descomposición de los residuos orgánicos dispuestos en los rellenos sanitarios [25].

Finalmente, posterior a la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático de 2019 (COP25), Chile realizó una actualización de su NDC y se estableció el desarrollo una Estrategia Nacional de Residuos Orgánicos (ENRO), la cual fue lanzada en marzo de 2021 [26]. La Estrategia tiene como fin aumentar la tasa de valorización de los RSO generados a nivel municipal (se incluyen los residuos generados a nivel domiciliario, ferias libres, parques y jardines, y el sector HORECA) de un 1 % a un 30 % para el año 2030 y 66 % para el año 2040, como forma de contribuir a la adaptación y mitigación al Cambio Climático [4].

2.2. Compostaje

El compostaje corresponde a la degradación controlada de la materia orgánica a través de microorganismos y en presencia de oxígeno. El producto que se obtiene es el compost, un material rico en nutrientes que tiene diferentes beneficios para el suelo, por lo que se utiliza como un fertilizante natural en parques, jardines, agricultura, entre otros [27].

2.2.1. Etapas del proceso de compostaje

El compostaje se puede dividir en 4 etapas, según las transformaciones biológicas que ocurren durante el proceso, las que se describen a continuación y se pueden ver en la Figura 2.6.

1. **Fase mesófila inicial:** En esta fase se inicia la descomposición de la materia orgánica por parte de microorganismos mesófilos, provocando que los residuos aumenten de temperatura [27][28].
2. **Fase termófila:** Como consecuencia de la actividad microbiana intensa y del aumento de la temperatura de los residuos orgánicos, los microorganismos termófilos predominan sobre los mesófilos, produciendo una rápida degradación de la materia. Se alcanza una temperatura de 70°C aproximadamente, garantizando la eliminación de patógenos. Pasado este punto, la actividad biológica disminuye y se estabiliza el medio. Esta fase puede durar de 2 semanas a 2 meses [27][28].
3. **Segunda fase mesófila:** En esta etapa la temperatura y la velocidad de degradación disminuyen lentamente, provocando la recolonización de la materia orgánica por parte de los microorganismos mesófilos [27][28].
4. **Fase de maduración:** La materia orgánica que ya ha sido degradada y cuya temperatura es estable, se deja descansar durante un cierto período de tiempo. Durante esta fase se producen complejas reacciones que incrementan la estabilidad del compost [27][28].

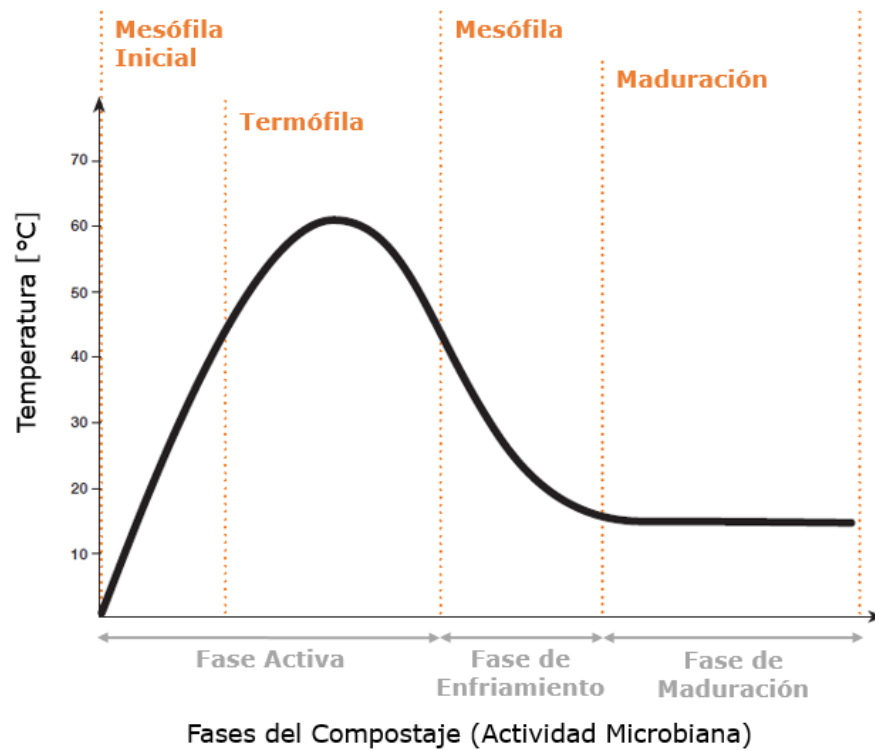


Figura 2.6: Fases del compostaje. Fuente: Elaboración propia en base a [27], [28] y [29]

2.2.2. Factores que afectan el proceso de compostaje

Los factores principales que afectan el crecimiento de los microorganismos aeróbicos corresponden a la temperatura, humedad, pH, oxígeno, nutrientes y tamaño de partícula. En la siguiente tabla, se muestran los rangos óptimos de estos parámetros para que el proceso de compostaje sea adecuado:

Tabla 2.1: Rangos óptimos de los parámetros que afectan al compostaje. Fuente: [30][31].

Parámetro	Rangos Óptimos
Temperatura	Fase Activa: 20 - 70 °C Fase de Maduración: Ambiente
pH	Fase Mesofílica Inicial: 5 - 5,5 Fase Termofílica: 7 - 8
Humedad	Entre 40 % y 65 %
Aireación	Fase Activa: 15 - 20 % de oxígeno Fase de Enfriamiento: 5 - 10 % de oxígeno
Tamaño de partícula	Menor a 5 cm
Relación C/N	Fase Activa: 25 - 30:1 Fase de Maduración: 10-15:1
Relación C/P	75 - 100:1

Para obtener un equilibrio adecuado de los nutrientes y humedad, se deben mezclar residuos orgánicos verde y café en una proporción aproximada de 1:1, dependiendo del tipo de materia orgánica utilizada [32]. Los residuos orgánicos verdes incluyen a los restos de comida, pasto y estiércol, que contienen un gran contenido de nitrógeno. Los residuos orgánicos cafés, por otro lado, incluyen hojas secas, astillas de madera y ramas, y contienen un gran contenido de carbono pero bajo contenido de nitrógeno [33].

2.2.3. Tipos de compostaje

El compostaje se puede llevar a cabo de forma centralizada o descentralizada. El primero se refiere al que se realiza en una planta de compostaje, donde llegan los residuos orgánicos provenientes de los municipios y que fueron previamente separados en los domicilios. El segundo, por otro lado, ocurre cuando el propio generador de los residuos orgánicos los gestiona en su domicilio particular, a una menor escala [34]. El compostaje centralizado se lleva a la práctica en diversas partes del mundo hace varios años, especialmente en Norteamérica y Europa. Como resultado, se han desarrollado y perfeccionado diferentes tecnologías y técnicas de tratamiento de residuos orgánicos, que van desde soluciones simples y económicas hasta complejas y altamente automatizadas [28].

El proceso de compostaje implica una serie de operaciones, las cuales se pueden resumir en 3 etapas principales que se muestran en la Figura 2.7.

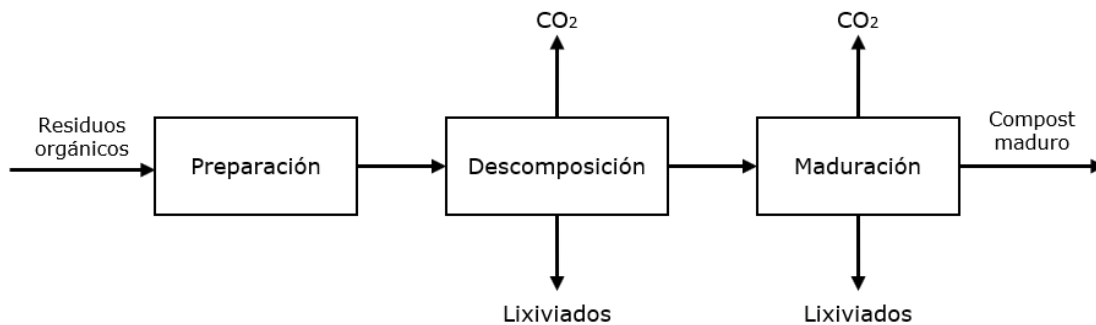


Figura 2.7: Diagrama de bloques del proceso de compostaje. Fuente: Elaboración propia en base a [28][35].

En particular, la etapa de descomposición (fase activa) se puede realizar mediante diferentes sistemas, cada uno con sus respectivas ventajas y desventajas, que se describen a continuación.

2.2.3.1. Sistemas Abiertos

En este tipo de sistemas, los residuos orgánicos se distribuyen al aire libre en hileras o pilas. La principales ventajas que presentan son su menor costo de inversión y la sencillez de la tecnología utilizada, sin embargo, requieren de un manejo activo de las emisiones, lixiviados, olores y vectores; utilizan mayor espacio comparado con los sistemas cerrados y presentan tiempos de residencia largos [36][37].

- **Pilas estáticas:** Este método es la opción más simple y menos costosa disponible actualmente. Se utiliza para materias primas con relaciones C:N mayores a 40:1, como hojas y ramas, y cuando hay un espacio de gran tamaño y tiempo disponible. Las pilas

estáticas no están recomendadas en áreas urbanas, ya que las pilas pueden emitir olores constantemente [28][37].

- **Hileras con volteo:** La materia orgánica se apila en hileras largas y delgadas, las cuales son volteadas periódicamente de forma manual o mecánica, con el fin de homogeneizar la mezcla, la temperatura y mejorar la aireación. La altura, el ancho y la forma de las hileras varían según el tipo de materia orgánica y el equipo utilizado para el volteo. Este método de compostaje es el que más se utiliza en la actualidad debido a que se pueden tratar grandes volúmenes de residuos orgánicos. No obstante, requiere de grandes extensiones de suelo, depende del uso de combustibles fósiles para el volteo de las hileras y el volteo inadecuado puede provocar malos olores [28][37].
- **Pilas estáticas con aireación:** Los residuos orgánicos son dispuestos en pilas estáticas que se airean de forma pasiva o forzada (mediante un sistema de suministro de aire). Esto último se realiza con el fin de oxigenar adecuadamente la mezcla, disminuir el tiempo de residencia el proceso y reducir la emanación de olores. Este método requiere de menos espacio que las hileras volteadas y se puede realizar dentro de un edificio. Sin embargo, se debe controlar rigurosamente la temperatura, para que se distribuya de forma homogénea en la mezcla. Además, las pilas con aireación forzada dependen de electricidad para el control y suministro del aire [28][37].

2.2.3.2. Sistemas Cerrados

En los sistemas cerrados, los residuos orgánicos son confinados dentro de contenedores, reactores o silos. Tienen un mayor control de los parámetros del proceso, menor tiempo de residencia y requieren de una menor superficie. Sin embargo, tienen un elevado costo de construcción, operación y mantenimiento, además de requerir personal capacitado para su manejo [37][33].

- **Reactor Horizontal:** En este sistema, los residuos orgánicos ingresan por un lado del reactor mientras que el compost sale por el otro. A lo largo del equipo hay un sistema de aireación forzada, lo que permite la oxigenación de la mezcla. La materia en descomposición puede o no ser agitada mecánicamente, dependiendo del reactor utilizado [37].
- **Reactor Vertical:** En este sistema, los residuos orgánicos fluyen verticalmente desde la superficie del reactor hacia abajo, debido a la gravedad. La materia orgánica es aireada desde el fondo del equipo a través de un sistema de aireación forzada. La principal dificultad que presentan es que los residuos deben ser homogeneizados dentro del reactor, desde la parte inferior hacia arriba [37].

2.2.4. Normativa compost

La utilización del compost está regulado por la Norma Chilena 2.880 del Instituto Nacional de Normalización, donde se clasifica según su calidad y ciertos parámetros presentes en la Tabla 2.2:

- **Clase A:** Producto de alto nivel de calidad, que cumple con las exigencias establecidas por la Norma Chilena para esta clase. Este tipo de compost puede ser empleado sin ningún tipo de restricción [38].

- **Clase B:** Producto de nivel intermedio de calidad, que cumple con las exigencias establecidas por la Norma Chilena para esta clase. Este tipo de compost posee restricciones en su uso [38].

Tabla 2.2: Límites NCh 2.880. Fuente: Elaboración propia en base a [39], [40] y [41].

Tipo de Análisis	Parámetro	Unidad de Medida	Límite NCh 2.880	
Fisicoquímico	Nitrógeno	%	Mayor o igual a 0,5	
	Relación C/N	-	Menor o igual a 25 (Clase A) Menor o igual a 30 (Clase B)	
	Materia Orgánica	%	Mayor o igual a 20	
	Humedad	%	Entre 30 y 45	
	pH	-	Entre 5 y 8,5	
	Tamaño de partícula	mm	Menor o igual a 16	
	Densidad	kg/m ³	Menor o igual a 700	
	Conductividad eléctrica	dS/m	Menor a 8	
Sanitario	Coliformes fecales	NPM/g	Menor a 1.000	
	<i>Salmonella sp.</i>	NPM/4g	Menor a 3	
Metales Pesados	Tipo de Compost		Clase A	Clase B
	Arsénico	mg/kg	15	33
	Cadmio	mg/kg	0,7	9
	Cobre	mg/kg	70	400
	Cromo	mg/kg	70	100
	Mercurio	mg/kg	0,4	2
	Níquel	mg/kg	25	80
	Plomo	mg/kg	45	220
	Zinc	mg/kg	200	800

2.3. Evaluación de proyectos

La evaluación de proyectos es el proceso de identificar, medir, valorar y comparar los costos y beneficios asociados a un proyecto de inversión en particular, en un periodo de tiempo determinado. Su objetivo es determinar si la ejecución del proyecto es conveniente para la entidad que quiera realizarlo [42][43].

La etapa de identificación de costos y beneficios corresponde la determinación cualitativa de los impactos positivos y negativos que genera el proyecto a evaluar. La medición, por otro lado, consiste en cuantificar, en unidades físicas, los impactos identificados. La valoración se refiere a la transformación de las unidades físicas en indicadores económicos con el precio de los bienes y recursos. Finalmente, la comparación de los costos y beneficios en distintos instantes de tiempo se realiza mediante indicadores de rentabilidad como el Valor Actual Neto (VAN) o la Tasa Interna de Retorno (TIR) [44].

La evaluación de un proyecto de inversión se puede realizar de forma privada y/o social, dependiendo del agente económico que percibirá los costos y beneficios durante la ejecución del proyecto [42]. El resultado de ambas evaluaciones no siempre es el mismo, es decir, un proyecto puede ser recomendable a partir de su evaluación privada pero puede que no lo sea a partir de su evaluación social, y viceversa [43].

2.3.1. Evaluación Privada

La evaluación privada consiste en determinar la conveniencia de la realización de un proyecto del punto de vista económico para una entidad o individuo en particular, ya sea una persona, empresa u organización. Los beneficios y costos relevantes que se consideran en este tipo de evaluaciones, son aquellos percibidos por el agente al cual se le efectúa la evaluación [43].

2.3.2. Evaluación Social

La evaluación social determina si la realización del proyecto es conveniente desde el punto de vista económico para todos los agentes involucrados alrededor del proyecto como inversionistas, empresas, ciudadanos y comunidades. El objetivo de esta evaluación es maximizar el bienestar total los afectados por el proyecto [43].

En Chile, existen diversos agentes estatales tales como ministerios, intendencias y municipalidades, que pueden ejecutar proyectos como representantes de la sociedad, a través del Sistema Nacional de Inversiones (SNI). Los proyectos deben ser presentados al Ministerio de Desarrollo Social y Familia (MDSF) para verificar su rentabilidad desde un punto de vista social [44].

2.3.2.1. Proyectos de valorización de residuos

Las iniciativas de inversión que promuevan la jerarquía de gestión de RSM (Figura 2.5) están regidas por la “Metodología para formulación y evaluación social de proyectos para el manejo o gestión de residuos sólidos domiciliarios y asimilables (2021)” del Ministerio de Desarrollo Social y Familia, donde se definen los aspectos a considerar en la evaluación social de la iniciativa (Tabla 2.3) [45].

Tabla 2.3: Beneficios, costos y externalidades considerados en la metodología. Fuente: Elaboración propia en base a [45]

Beneficios	Costos	Externalidades
Menor disposición en rellenos sanitarios	Inversión	Emisiones de GEI
Venta de residuo valorizado	Operación y mantenimiento	-
Ahorro de energía	Mitigación	-

Esta metodología utiliza dos enfoques para la evaluación: costo-beneficio y costo-eficiencia. Cuando el proyecto está enfocado en la gestión y valorización de residuos, tales como producción de energía, reciclaje, compost u otros similares, se debe utilizar el enfoque costo-beneficio, mientras que cuando la iniciativa está asociada directamente con la disposición final de residuos (eliminación en un relleno sanitario), se debe utilizar el enfoque costo-eficiencia. Por otro lado, cuando se evalúa un proyecto en zonas extremas y rezagadas, ésta se debe realizar bajo un análisis costo-eficiencia, a excepción de iniciativas de valorización energética [45].

Si bien esta metodología supone un avance en relación a la incorporación de externalidades en comparación a su versión anterior, queda al debe con la consideración de otras externa-

lidades relevantes para la sociedad y medioambiente como la contaminación del suelo, agua y aire, salud pública, emisión de olores, entre otros, debido a la dificultad de monetarizar aquellos beneficios que no son cuantificables [46].

2.3.3. Diferencias entre la evaluación privada y social

La principal diferencia entre ambas evaluaciones son los precios utilizados para valorar, la tasa de descuento y los impuestos. Para el caso de la evaluación privada, se utilizan precios de mercado y una tasa de descuento privada, que depende de las expectativas del dueño del proyecto. Además, es necesario considerar impuestos a las utilidades [42][44]. Por otro lado, en la evaluación social, se utilizan precios sociales y una tasa de descuento social igual al 6 % dados por MDSF, y no se consideran impuestos, préstamos bancarios, subsidios, entre otros, debido a que se eliminan las distorsiones del mercado [42][44][45].

2.3.4. Indicadores de rentabilidad de proyectos

A continuación se presentan algunos de los indicadores de rentabilidad utilizados en la evaluación de proyectos.

2.3.4.1. Valor Actual Neto

El Valor Actual Neto (VAN) o Valor Presente Neto (VPN) corresponde al valor actualizado de los flujos de efectivo del proyecto. En otras palabras, es el valor que una persona estaría dispuesta a pagar por un proyecto en la actualidad. El VAN, para un proyecto de n periodos, se calcula con la siguiente manera [42]:

$$VAN = -I_0 + \sum_{i=0}^n \frac{F_i}{(1+r)^i} \quad (2.1)$$

Donde:

- VAN es el Valor Actual Neto.
- I_0 es la inversión inicial.
- F_i es el flujo de beneficios y costos en el año i .
- r es la tasa de descuento exigida para el proyecto.

Si un proyecto posee $VAN > 0$, entonces será conveniente realizar el proyecto de inversión. Por el contrario, si el $VAN < 0$, la realización del proyecto no será conveniente, y si el $VAN = 0$, entonces existe una indiferencia en la decisión de realizar el proyecto [42].

2.3.4.2. Tasa Interna de Retorno

La Tasa Interna de Retorno (TIR) corresponde a la tasa de descuento que hace cumplir la condición de que el VAN del proyecto sea equivalente a cero. De esta forma, la TIR está definida por [42]:

$$VAN = -I_0 + \sum_{i=0}^n \frac{F_i}{(1+TIR)^i} = 0 \quad (2.2)$$

Donde:

- VAN es el Valor Actual Neto.
- TIR es la Tasa Interna de Retorno.
- I_0 es la inversión inicial.
- F_i es el flujo de beneficios y costos en el año i .

Cuando un proyecto posee $TIR > r$, entonces será conveniente efectuar el proyecto de inversión. En cambio, cuando la $TIR < r$, será conveniente no efectuar el proyecto de inversión, mientras que si la $TIR = r$, entonces existe una indiferencia en la decisión de realizar el proyecto [42].

Capítulo 3

Antecedentes

3.1. Descripción del problema

Como se explicó en la Sección 2.1.3.1, el problema de la inequidad respecto al manejo de residuos ocurre a lo largo de todo el país, principalmente por la diferencia de ingresos que tienen los distintos municipios. Esta situación se agrava en zonas rurales y con baja conectividad terrestre, lo que ha provocado que algunas municipalidades tengan que incumplir con la normativa sanitaria y ambiental para poder cumplir sus obligaciones.

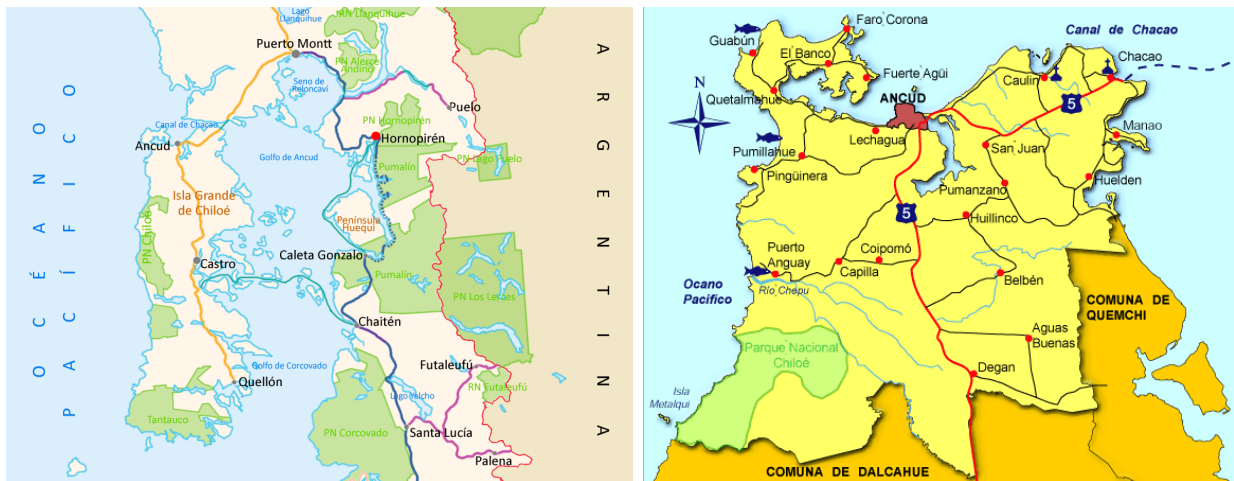
Un ejemplo de esto es la comuna de Ancud, cuyos residuos eran dispuestos en el Vertedero Municipal de Ancud hasta el año 2019, sitio de disposición que no cumplía con la regulación ambiental vigente [9] y que terminó su vida útil en Abril de dicho año, tras 40 años de funcionamiento, dejando al municipio sin un lugar donde disponer sus residuos. Lo anterior conllevó a la declaración de Alerta Sanitaria en la Provincia de Chiloé, como forma de enfrentar la emergencia sanitaria provocada por la acumulación de los residuos municipales en la vía pública [47][48]. A partir de esto, a comienzos del año 2020, se autorizó la construcción del relleno sanitario transitorio Puntra El Roble en Ancud [49], lo que generó conflictos entre el municipio y los habitantes de la comuna debido a que su funcionamiento se encontraba sin Resolución de Calificación Ambiental (RCA) y a su cercanía al Santuario de la Naturaleza del Río Chepu [48]. Finalmente, en Septiembre de 2021, la Corte Suprema ordenó la paralización del funcionamiento del relleno sanitario transitorio y el retiro de todos los residuos sólidos municipales dispuestos en el sitio [50], provocando que, en la actualidad, los residuos de la comuna tengan que ser trasladados al relleno sanitario Laguna Verde, Región del Bío-bío, a más de 600 km de distancia y que tiene un costo superior a los 60 millones de pesos mensuales para el municipio [51].

Esta situación destaca la urgencia que existe tanto en la comuna de Ancud como en la Isla para reducir la cantidad de residuos que son dispuestos en los sitios de disposición existentes e impulsar la valorización de los residuos inorgánicos y orgánicos. De esta forma, se escoge la comuna de Ancud como caso de estudio para el presente trabajo.

3.2. Caracterización de la comuna de Ancud

3.2.1. Geografía

La comuna de Ancud está ubicada en la Provincia de Chiloé, Región de Los Lagos. Tiene una superficie terrestre de 1.752 km^2 , que corresponde al 19% de la superficie provincial. Se encuentra en el extremo norte de la Isla y limita con el Canal de Chacao en esa dirección, con la comuna de Dalcahue en el sur, con la comuna de Quemchi y el Golfo de Ancud en el este y con el Océano Pacífico en el oeste [52].



(a) Mapa de la Isla de Chiloé. Fuente: [53].

(b) Mapa de la comuna de Ancud. Fuente: [52].

Figura 3.1: Ubicación de la comuna de Ancud.

La Isla de Chiloé presenta un clima oceánico, húmedo y templado. En Ancud, la temperatura media anual de la comuna es de 9°C , donde enero y febrero corresponden a los meses más cálidos y julio al mes más frío. Por otro lado, la precipitación media anual es de 2.457 mm , donde julio es el mes más lluvioso y febrero el mes con menor precipitación [52].

El principal núcleo urbano de la comuna es la ciudad de Ancud, la cual fue fundada en 1768 por la Corona Española como forma de fortificar la Isla y resguardarla de posibles ocupaciones territoriales, convirtiéndose así el puerto principal de Chiloé [52].

3.2.2. Población

El Censo realizado en 2017 indica que la comuna tiene 38.991 habitantes, donde el 72,5% de la población vive en zonas urbanas y el 27,5% vive en zonas rurales [52]. Para efectos del presente trabajo, se utilizará la estimación y proyección de la población de la comuna de Ancud realizada por el Instituto Nacional de Estadísticas (INE), mostrada a continuación (Figura 3.2). Los datos se encuentran en el Anexo A.1.

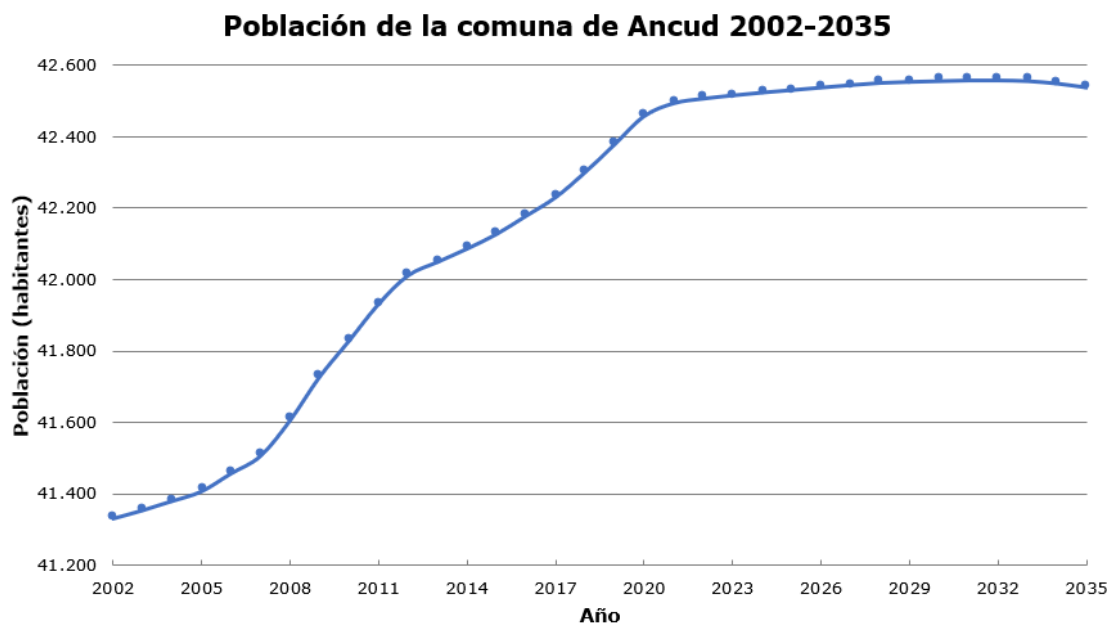


Figura 3.2: Estimación y proyección de la población de la comuna de Ancud. Fuente: INE.

De acuerdo a la Encuesta Casen del año 2015, el 25,4% de la población se encuentra en situación de pobreza, al presentar carencias en al menos una de las siguientes dimensiones de bienestar: educación, salud, trabajo y seguridad social y vivienda [9].

3.2.3. Actividad económica

Históricamente, las actividades económicas que se desarrollan en la comuna de Ancud están vinculadas al sector primario, como la pesca y la ganadería, donde se destaca el cultivo de salmones, choritos, la pesca artesanal y la lechería. Lo anterior se complementa con el rubro forestal, la agricultura y los servicios turísticos [54].

La ciudad de Ancud, junto con Castro, proporciona los servicios necesarios para satisfacer la demanda tanto de la población comunal, como de comunas aledañas, condicionando, de esta forma, la economía y el desarrollo provincial [54].

3.2.4. Residuos

3.2.4.1. Generación de residuos sólidos municipales

Según las cifras entregadas por la SUBDERE en el año 2017, la producción per cápita de residuos es de 1,14 kg/hab*día [9]. Por otro lado, la masa anual de RSM declarados en el Registro de Emisiones y Transferencias de Contaminantes (RETC) entre los años 2014 y 2019 se pueden ver en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1: Producción de RSM 2014-2019 en Ancud. Fuente: RETC.

Año	RSM (toneladas)
2014	17.340
2015	19.018
2016	17.599
2017	20.886
2018	23.223
2019	14.085

3.2.4.2. Caracterización de los residuos sólidos municipales domiciliarios

De acuerdo a los datos entregados por la SUBDERE, el 26 % y 55 % de los residuos generados en los domicilios corresponden a residuos reciclables y residuos orgánicos, respectivamente [9]. La distribución porcentual de los residuos se puede ver en la Figura 3.3:

Composición de los residuos sólidos domiciliarios de la comuna de Ancud

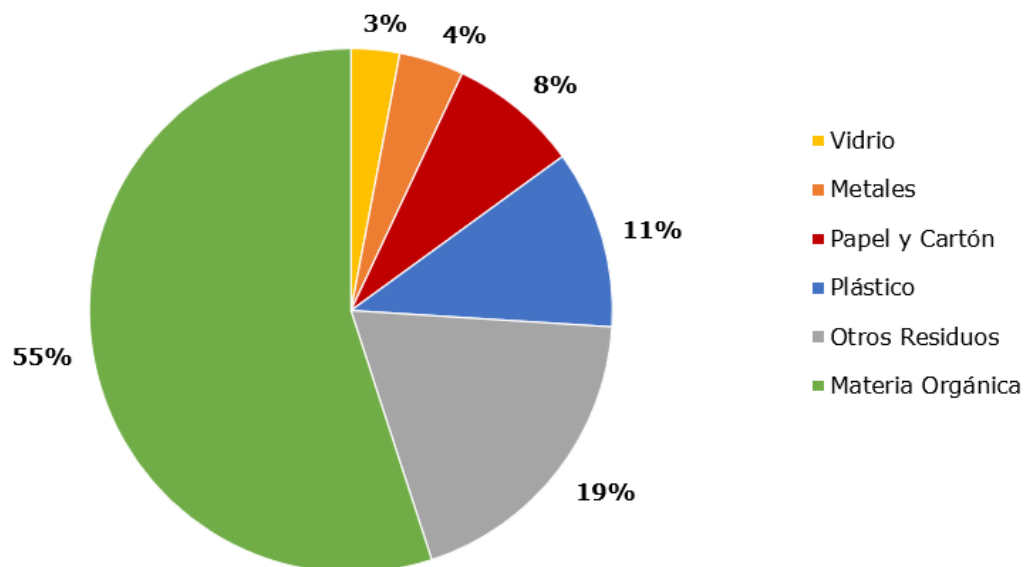


Figura 3.3: Composición porcentual de los residuos domiciliarios en la comuna de Ancud. Fuente: Elaboración propia en base a [9].

3.2.4.3. Gestión de los residuos sólidos domiciliarios

El servicio de recolección y transporte está a cargo de la empresa C&H y tiene un costo de 328 millones de pesos al año para el municipio. Es un sistema semi mecanizado, con una modalidad puerta a puerta, y tiene una frecuencia de recolección de 6 días a la semana en la zona urbana de la comuna y de 5 días por mes en las zonas rurales. La cobertura del servicio es del 100 % en la zona urbana y de 20 % en la zona rural [9].

Como se presentó anteriormente, hasta el año 2019, los residuos de la comuna eran dispuestos en el Vertedero Municipal de Ancud, el cual estaba clasificado como Basural y no

contaba con las autorizaciones sanitarias ni ambientales de funcionamiento. En la actualidad, los residuos se disponen en el relleno sanitario Laguna Verde, comuna de Los Ángeles, Región del Bío-bío, a más de 600 km de distancia de la ciudad de Ancud.

Por otro lado, la comuna cuenta con 31 puntos verdes urbanos y 12 puntos verdes rurales, donde se reciben reciclan botellas de plástico PET, vidrio, latas, papel y cartón, y existe un proyecto piloto de recolección diferenciada de estos mismos materiales en la ciudad de Ancud [52].

3.2.4.4. Residuos sólidos orgánicos

En el año 2019, la municipalidad de Ancud se adjudicó, mediante el Fondo de Reciclaje del Ministerio del Medio Ambiente, un monto de \$110.000.000 para la implementación del proyecto “Ancud composta”, cuyo objetivo es la disminución de la masa de residuos sólidos domiciliarios y desviar los residuos orgánicos del nuevo relleno sanitario, a través de la entrega de composteras domiciliarias a los vecinos [55].

Además, la comuna tiene en desarrollo un proyecto de construcción de una planta de compostaje municipal en la localidad Puerto Elvira, en un sitio municipal con una superficie total de 93 hectáreas. La planta de compostaje tendrá una capacidad de 5,2 toneladas de residuos orgánicos vegetales domiciliarios anuales, mediante un sistema de pilas estáticas [56][57]. Sin embargo, esta iniciativa no satisface la totalidad de la oferta de residuos orgánicos que existe en la Ancud.

3.3. Descripción del proyecto: valorización de residuos orgánicos en Ancud

El proyecto que se analiza y evalúa en el presente trabajo corresponde a la valorización de la fracción orgánica vegetal de los residuos domiciliarios (restos de frutas, verduras y similares) de la zona urbana de Ancud, junto a una fracción de los residuos del manejo del arbolado urbano de la comuna (áreas verdes), en una planta de compostaje. Se descartan los restos de alimentos de origen animal debido a que su utilización se recomienda solamente cuando el compostaje se realiza en sistemas cerrados de alta tecnología [33].

En la Figura 3.4 se presenta un diagrama que describe el proyecto, que considera la construcción y operación de la planta de compostaje, la recolección en el origen (puerta a puerta) y transporte de los residuos orgánicos domiciliarios que son compostables y de aquellos provenientes del manejo del arbolado urbano. Quedan fuera de los límites de la evaluación el transporte y disposición final de los residuos orgánicos que no serán valorizados en la planta.

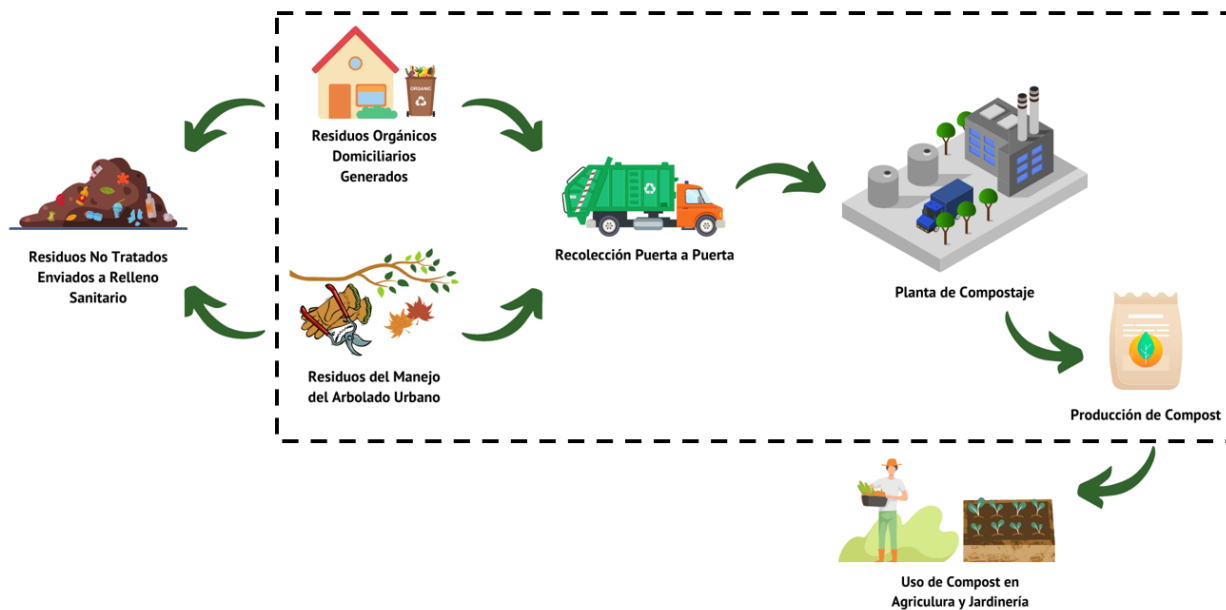


Figura 3.4: Diagrama y límite de batería del proyecto. Fuente: Elaboración propia.

3.3.1. Localización de la planta

El lugar que se estableció para la construcción de la planta de compostaje corresponde al sitio municipal en Puerto Elvira, ya que al ser el municipio propietario de este terreno no supone un costo extra. Además, se encuentra relativamente cerca de la zona urbana de Ancud (28 km aproximadamente), lo que permite disminuir el consumo de combustibles fósiles y el costo asociado al transporte de los residuos, y posee un área extensa, lo que posibilita la construcción y ampliación de la planta de compostaje sin dificultades.

3.3.2. Selección de tecnología a utilizar

A partir de lo descrito en la Sección 2.2.3, se selecciona como método de compostaje la técnica de pilas estáticas con aireación forzada, principalmente debido a que el sitio municipal en Puerto Elvira cuenta con espacio suficiente para construcción de la infraestructura y el armado de las pilas de compostaje. También, esta técnica tiene como ventaja la mantención de las condiciones aeróbicas en las pilas, requiere un menor consumo de combustible y reduce la emisión de olores.

Debido a las precipitaciones frecuentes en la zona, es necesario que las pilas de compostaje estén cubiertas, lo cual se puede realizar a través de la construcción de un galpón o la utilización de membranas semipermeables para cubrir las pilas. Además, bajo las pilas se debe tener una superficie asfaltada o pavimentada, con una pendiente o sistema adecuado para recoger las aguas lluvia que ingresan a la zona de operación [58].

En este caso, se escogió utilizar membranas semipermeables debido a la suposición de que la construcción del galpón tiene un mayor costo de inversión que la utilización de membranas para la masa de residuos orgánicos que serán tratados en la planta.

A continuación se presenta un esquema del funcionamiento de una pila estática con un sistema de aireación forzada y membrana semipermeable (Figura 3.5).

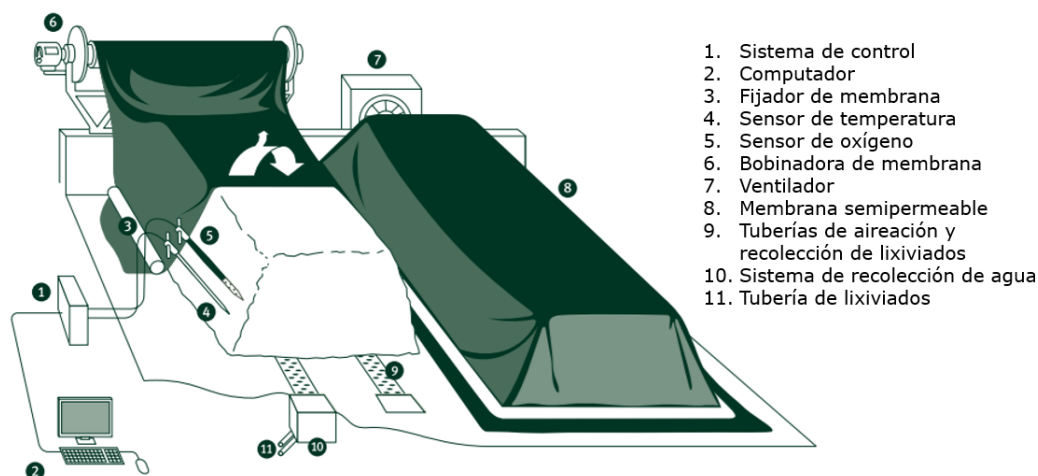


Figura 3.5: Esquema de una pila de compostaje con aireación forzada y membrana semipermeable. Fuente: [59].

3.3.3. Capacidad de la planta de compostaje

La capacidad de la planta corresponde a la masa de residuos orgánicos que serán tratados anualmente, es decir, a la suma de los residuos orgánicos domiciliarios vegetales y del manejo del arbolado urbano. Para su determinación, primero se calcula la masa de residuos orgánicos vegetales que serán generados por la población objetivo cada año, que se puede ver en el Anexo A.2, mediante la metodología que se encuentra en la Sección 4.1.

Luego, se determina la masa de residuos orgánicos vegetales que serán tratados en la planta de compostaje. En este caso, hay que considerar como límite inferior el tratamiento del 30 % y 66 % de los residuos orgánicos domiciliarios producidos en los años 2030 y 2040, respectivamente, de acuerdo a las metas de valorización fijadas en la Estrategia Nacional de Residuos Orgánicos (ENRO) [4].

Como la planta de compostaje propuesta en este trabajo debe tratar una gran masa de residuos orgánicos y considerando que la capacidad de tratamiento actual es de 0, se decidió separar el proyecto en tres etapas, para dividir la inversión requerida para el funcionamiento del proyecto. Las etapas se escogieron de acuerdo a la vida útil de las membranas que se utilizarán para cubrir las pilas de compostaje, que es de 6 años. De esta forma, la planta funcionará con una capacidad inicial en los primeros 6 años (2022-2027), posteriormente aumentará su capacidad desde el año 7 al año 12 (2028-2033), y finalmente se ampliará nuevamente a partir del año 13 (2034-2041).

Para obtener la masa de residuos orgánicos tratados en cada etapa, se definen dos tasas:

- **Tasa de participación:** es el porcentaje de las viviendas que participan activamente de un programa de separación en origen y recolección diferenciada de residuos [58].

Esta tasa se incrementa para las distintas etapas del proyecto, a través de la ampliación

del alcance del servicio de recolección hacia nuevas zonas de la comuna. Se considera que en los primeros 3 años de funcionamiento de la planta, existe un periodo de “marcha blanca”, donde la participación aumenta gradualmente cada año hasta alcanzar la participación deseada.

- **Tasa de captura:** es el porcentaje de los residuos orgánicos domiciliarios que son efectivamente separados en el origen por las personas que participan del programa [58].

Esta tasa aumenta para las diferentes etapas del proyecto, debido al incentivo constante de la separación correcta de los residuos orgánicos y educación ambiental hacia las personas. En este caso, se considera que la tasa de captura crece gradualmente durante los primeros 3 años luego instalación o ampliación de la planta hasta alcanzar la captura deseada, debido a que la incorporación de nuevas personas genera una disminución en la eficiencia de separación global.

Basado en lo expuesto anteriormente, se propone alcanzar las tasas de participación y captura presentes en la Tabla 3.2 y se obtiene la masa de residuos orgánicos vegetales que serán tratados en la planta de compostaje (Figura 3.6). Cabe destacar que para lograr la meta de valorización de la ENRO para el año 2040, se requiere como mínimo una tasa de participación y captura de 81,24 % (cada una).

Tabla 3.2: Tasas de participación y captura del proyecto. Fuente: Elaboración Propia.

Año	Tasa de participación (%)	Tasa de captura (%)
4	50	60
10	70	60
16	85	80

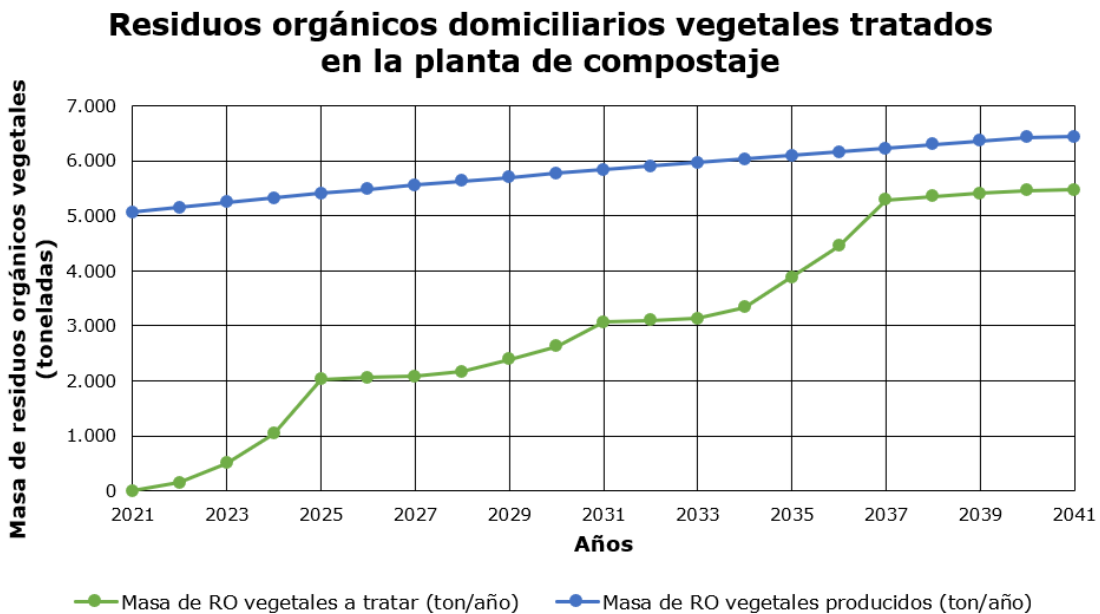


Figura 3.6: Masa de residuos orgánicos vegetales tratados en la planta de compostaje. Fuente: Elaboración Propia

A partir de la masa de residuos orgánicos vegetales a tratar en la planta de compostaje, se establecen tres capacidades de tratamiento, que se muestran en la Tabla 3.3. Sin embargo, es necesario incorporar los residuos orgánicos provenientes del manejo del arbolado urbano en una proporción de 1:1, tal como se expuso en la Sección 2.2.2, con lo que se obtienen las tres capacidades de tratamiento total.

Tabla 3.3: Capacidad de tratamiento de la planta de compostaje. Fuente: Elaboración Propia.

Años	Capacidad según RO vegetales (ton/año)	Capacidad total requerida (ton/año)
1-6	2.100	4.200
7-12	3.200	6.400
13-20	5.500	11.000

Capítulo 4

Metodología

La metodología utilizada en el presente trabajo se dividió en tres partes:

- (a) Evaluación Ambiental.
- (b) Evaluación Privada.
- (c) Evaluación Social.

A continuación se describirá la metodología específica para cada una de ellas.

4.1. Evaluación Ambiental

La evaluación ambiental fue realizada a partir de la cuantificación de la reducción de las emisiones de GEI asociadas a la implementación del proyecto. Para esto, se utilizaron las herramientas metodológicas del Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL o CDM, por sus siglas en inglés), que están basadas en las Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases efecto invernadero y estiman la masa de CO_2 equivalente a través de un modelo de degradación de primer orden (FOD, por sus siglas en inglés) [60].

Para cuantificar las emisiones de GEI se siguió la siguiente metodología específica:

1. En primer lugar, se estimó la tasa de generación de residuos per cápita, mediante la metodología presente en el reporte *What a Waste 2.0* del Banco Mundial, donde se establece una relación entre el crecimiento del PIB (a valores de paridad de poder adquisitivo y ajustado a precios internacionales) y el crecimiento de la población a través de las ecuaciones 4.1 y 4.2 [1].

$$r_{t_{objetivo}}^p = \frac{r_{t_{objetivo}}^e}{r_{t_{base}}^e} \cdot r_{t_{base}}^r \quad (4.1)$$

$$r_t^e = 1.647,41 - 419,73 \cdot \ln(\text{PIB per cápita}_t) + 29,43 \cdot \ln(\text{PIB per cápita}_t)^2 \quad (4.2)$$

Donde:

- r_t^p : tasa de generación de residuos per cápita proyectada para el año t [kg/hab/año].
- r_t^e : tasa de generación de residuos per cápita estimada para el año t [kg/hab/año].
- r_t^r : tasa de generación de residuos per cápita real para el año t [kg/hab/año].

Los datos requeridos y sus fuentes respectivas se detallan a continuación:

- Proyección del producto interno bruto per cápita de Chile, a valores de paridad de poder adquisitivo y ajustado a precios internacionales del 2005 (“PIB”): se obtuvo a partir de los datos entregados por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE).
- Participación de la Región de Los Lagos en el PIB de Chile: se obtuvo del “Informe Regional 2019 de la Región de Los Lagos”. Se asumió como constante a lo largo de todos los años en evaluación.
- Tasa de generación de residuos per cápita actual de la Región de Los Lagos: se obtuvo a partir del “Diagnóstico de la Situación por Comuna en Materia de Residuos Sólidos Domiciliarios y Asimilables” realizado por la SUBDERE en el año 2018.

En este trabajo, se consideró que la tasa de generación de residuos per cápita de la comuna de Ancud es igual a la de la Región de Los Lagos, debido a la falta de información del PIB de la comuna. El PIB de la Región de Los Lagos se obtuvo multiplicando el PIB de Chile con la participación de la Región de Los Lagos en el PIB del país.

2. Una vez obtenida la tasa de generación de residuos, se procedió a determinar la masa de residuos orgánicos vegetales que serán generados por la población objetivo cada año (ver Anexo A.2), con la siguiente ecuación:

$$m = P_t \cdot f_u \cdot r_t^e \cdot f_o \cdot f_v \quad (4.3)$$

Donde:

- m : masa de residuos orgánicos vegetales generados por la población objetivo anualmente [ton/año].
- P_t : población de la comuna de Ancud en el año t [hab].
- f_u : fracción urbana de la población de Ancud.
- r_t^e : tasa de generación de residuos per cápita estimada para el año t [ton/hab/año].
- f_o : fracción orgánica dentro de los residuos domiciliarios de Ancud.
- f_v : fracción compostable dentro de la fracción orgánica de los residuos domiciliarios de Ancud.

Los datos requeridos y sus fuentes respectivas se detallan a continuación:

- Proyección de la población de la comuna de Ancud: se obtuvo de la estimación y proyección realizada por el INE, con base 2017. Debido a la falta de datos a partir del año 2035, se asumió que la población no varía.

- Fracción urbana de la comuna de Ancud: se obtuvo a partir del “Diagnóstico de la Situación por Comuna en Materia de Residuos Sólidos Domiciliarios y Asimilables” realizado por la SUBDERE en el año 2018. Se asumió como constante a lo largo de todos los años en evaluación.
 - Fracción orgánica de los residuos domiciliarios de Ancud: se obtuvo a partir del “Diagnóstico de la Situación por Comuna en Materia de Residuos Sólidos Domiciliarios y Asimilables” realizado por la SUBDERE en el año 2018. Se asumió como constante a lo largo de todos los años en evaluación.
 - Fracción compostable dentro de la fracción orgánica: Se tomó como supuesto que es de un 80%. Se escoge un valor más conservador que aquel expuesto en [61], que es cercano a 90%.
3. Posteriormente, se estimó la masa anual de residuos orgánicos que serán tratados en la planta de compostaje, de acuerdo a lo expuesto en la Sección 3.3.
 4. Luego, se cuantificó la masa de GEI que sería emitida por los residuos orgánicos a tratar, si fuesen dispuestos en un relleno sanitario. Para esto se utilizó la ecuación 4.4 presente en la herramienta metodológica n°4 del MDL, que considera que el principal gas emitido en un sitio de disposición final es el gas metano.

$$E_{CH_4,t} = \varphi_t \cdot (1 - f_{CH_4,t}) \cdot GWP_{CH_4} \cdot OX \cdot \frac{16}{12} \cdot F_{CH_4} \cdot DOC_t \cdot MCF_t \cdot \sum_{i=1}^t \sum_j (W_{j,i} \cdot DOC_j \cdot e^{-k_j(t-i)} \cdot (1 - e^{-k_j})) \quad (4.4)$$

Donde:

- $E_{CH_4,t}$: emisiones de metano del caso base o del proyecto en el año t generadas por la eliminación de residuos en un sitio de disposición final [ton $CO_2 - eq/año$].
- φ_t : factor de corrección del modelo.
- $f_{CH_4,t}$: fracción de metano capturado en un sitio de disposición final en el año t.
- GWP_{CH_4} : potencial de calentamiento global del gas metano [ton $CO_2 - eq/ton$ metano].
- OX : factor de oxidación del metano en el suelo de un sitio de disposición final.
- F_{CH_4} : fracción volumétrica de metano en el GEI proveniente de un sitio de disposición final.
- DOC_t : fracción de carbono orgánico degradable en un residuo j que se descompone en un sitio de disposición final en el año t.
- MCF_t : factor de corrección de metano para el año t.
- $W_{j,i}$: masa de residuo j eliminado en un sitio de disposición final en el año i [toneladas].
- k_j : tasa de descomposición del residuo j [1/año].

5. Después, se cuantificó la masa de GEI emitida por el tratamiento de los residuos orgánicos en la planta de compostaje. Para esto, se utilizaron las ecuaciones 4.5, 4.6, 4.7, 4.8 y 4.9 de la herramienta metodológica n°13 del MDL.

$$E_t = E_{CE,t} + E_{CC,t} + E_{CH_4,t} + E_{N_2O,t} \quad (4.5)$$

$$E_{CE,t} = m_t \cdot CEC \quad (4.6)$$

$$E_{CC,t} = m_t \cdot FE_{CC} \quad (4.7)$$

$$E_{CH_4,t} = m_t \cdot FE_{CH_4} \cdot GWP_{CH_4} \quad (4.8)$$

$$E_{N_2O,t} = m_t \cdot FE_{N_2O} \cdot GWP_{N_2O} \quad (4.9)$$

Donde:

- E_t : emisiones del proyecto asociadas al compostaje en el año t [ton $CO_2 - eq/año$].
- $E_{CE,t}$: emisiones del proyecto por consumo eléctrico en el año t [ton $CO_2 - eq/año$].
- $E_{CC,t}$: emisiones del proyecto por consumo de combustibles fósiles en el año t [ton $CO_2 - eq/año$].
- $E_{CH_4,t}$: emisiones de metano por el proceso de compostaje en el año t [ton $CO_2 - eq/año$].
- $E_{N_2O,t}$: emisiones de óxido nitroso por el proceso de compostaje en el año t [ton $CO_2 - eq/año$].
- m_t : masa de residuos compostados en el año t [ton/año].
- CEC : electricidad consumida por tonelada de residuos compostados [MWh/t].
- FE_x : factor de emisión para el contaminante x por tonelada de residuos compostados [ton $CO_2 - eq/año$].
- GWP_x : potencial de calentamiento global para el gas de efecto invernadero x [ton $CO_2 - eq/ton x$].

Todos los parámetros que se utilizaron para estimar la masa de GEI emitidas corresponden a los parámetros por defecto presentes en ambas herramientas metodológicas, debido a la inexistencia de datos reales para la comuna de Ancud o para Chile.

6. Por último, se realizó una comparación entre la masa de GEI emitidas en el caso con y sin proyecto.

4.2. Evaluación Privada

La evaluación económica privada del proyecto se realiza a través un análisis costo-beneficio. Para esto, se siguió la siguiente metodología específica:

1. En primer lugar, se identificaron y cuantificaron los costos de inversión del proyecto para cada etapa, los cuales incluyen las obras civiles, el terreno, la maquinaria y equipos para el compostaje, y los gastos preoperativos de la planta. Para esto, se contó con la asesoría de la consultora de ingeniería ImplementaSur.
2. En segundo lugar, se identificaron y cuantificaron los costos de operación y mantenimiento del proyecto, además de los insumos requeridos por los equipos y maquinaria como electricidad y combustible. Para esto, se contó con la asesoría de la consultora de ingeniería ImplementaSur.
3. En tercer lugar, a partir del precio promedio de venta del compost producido, basado en los precios del mercado para la comuna de Ancud, se calculó el ingreso por por tonelada de compost producido. Para esto, se contó con la asesoría de la consultora de ingeniería ImplementaSur.
4. Con la tabla de vida útil Servicio de Impuestos Internos (SII) [62], se definieron las vidas útiles de los activos del proyecto. Con esto, se obtuvo la depreciación para cada una de las etapas y el valor residual del proyecto.
5. A partir de lo determinado anteriormente, se construyó un flujo de caja con un horizonte de evaluación de 20 años, que posee la siguiente estructura:

Tabla 4.1: Componentes del flujo de caja privado. Fuente: Elaboración propia en base a [44] y [45].

+	Ingresos por ventas
-	Costos
-	Intereses
+/-	Ganancias o pérdidas de capital
-	Depreciación
-	Pérdidas del ejercicio anterior
=	Utilidad antes de impuestos
-	Impuestos
=	Utilidad después de impuestos
+	Depreciación
+	Pérdidas del ejercicio anterior
-/+	Pérdidas o ganancias de capital
-	Amortización
+	Préstamos
-	Inversión
+	Valor residual
=	Flujo de Caja

6. Posteriormente, se calcularon los indicadores de rentabilidad VAN, TIR y PRC. Para esto, se utilizó una tasa de descuento del 12%.
7. Finalmente, se realizó el análisis de los indicadores de rentabilidad obtenidos anteriormente para determinar la factibilidad económica del proyecto. Para esto, se definieron

dos escenarios de financiamiento diferentes y se compararon. Además, se realizó un análisis de sensibilidad del VAN sobre el precio de venta del compost.

4.3. Evaluación Social

Para la evaluación social del proyecto, se siguió la “Metodología para formulación y evaluación social de proyectos para el manejo o gestión de residuos sólidos domiciliarios y asimilables (2021)” del Ministerio de Desarrollo Social y Familia [45]. Para el caso de estudio del presente trabajo, la evaluación social se realiza a través un análisis costo-beneficio. La metodología específica seguida se muestra a continuación:

1. Primero, se identificaron los costos, beneficios y externalidades atingentes al proyecto, a partir de la Tabla 2.3. Para esto, se contó con la asesoría de la consultora de ingeniería ImplementaSur.
2. Luego, se realizó una corrección de los precios de mercado (obtenidos en la evaluación privada) a precios sociales, de acuerdo a lo presentado en [63]. Con esto, se cuantificaron los costos, beneficios y externalidades del proyecto.
3. Posteriormente, se construyó un flujo de caja social con un horizonte de evaluación de 20 años, que posee la siguiente estructura:

Tabla 4.2: Componentes del flujo de caja social. Fuente: Elaboración propia en base a [44] y [45].

+	Beneficios
-	Costos
+/-	Externalidades
-	Inversión
+	Valor residual
=	Flujo de Caja

4. Después, se calcularon los indicadores de rentabilidad VAN, TIR y PRC. Para esto, se utilizó una tasa de descuento del 6%, según lo expuesto en la metodología.
5. Por último, se realizó el análisis de los indicadores de rentabilidad obtenidos anteriormente para determinar la factibilidad social del proyecto.

Capítulo 5

Evaluación Ambiental

En este capítulo se presenta el impacto ambiental de la implementación del proyecto, que se determina a través de la cuantificación de la masa de gases de efecto invernadero (en toneladas de CO_2 equivalente) para las situaciones con y sin proyecto. La metodología específica seguida se encuentra en la Sección 4.1.

Para efectos de esta evaluación, sólo se consideran las emisiones directamente generadas por los residuos orgánicos, es decir, durante su disposición final en un relleno sanitario (situación sin proyecto) o su tratamiento en la planta de compostaje (situación con proyecto). No se incorporan las emisiones asociadas al traslado de los residuos orgánicos debido a que el sitio de disposición final ha cambiado en múltiples ocasiones en los últimos años, por lo que no es posible predecir el impacto del transporte en un largo plazo.

A partir de lo anterior, la Figura 5.1 muestra las emisiones netas de CO_2 equivalente en ambas situaciones. Los datos utilizados para su elaboración se encuentran en el Anexo B.

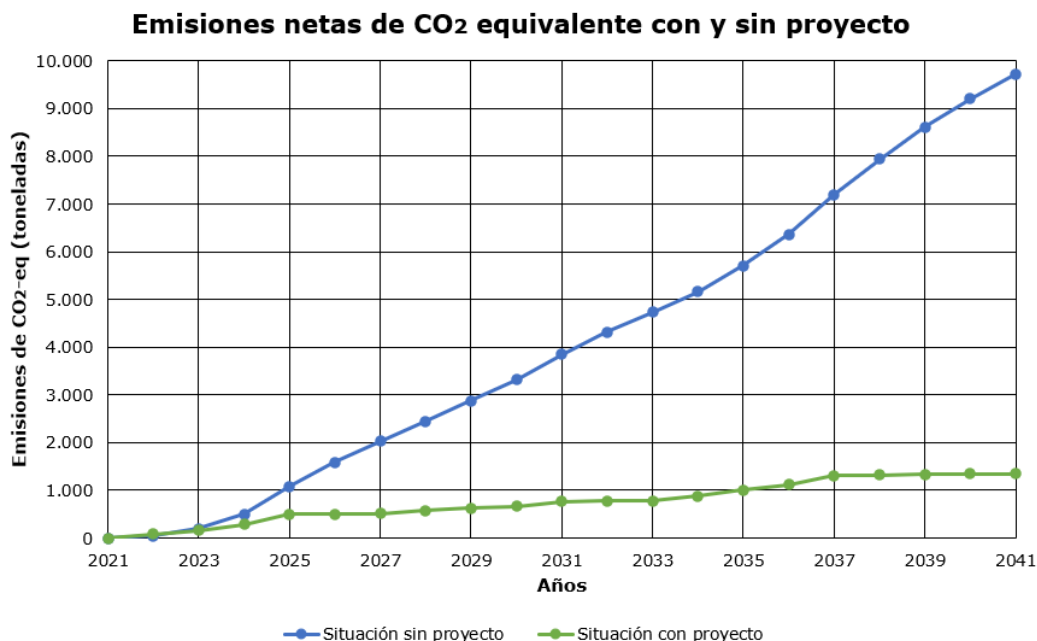


Figura 5.1: Emisiones netas de CO_2 equivalente en la situación con y sin proyecto. Fuente: Elaboración propia.

En la Figura, la curva azul corresponde a las emisiones generadas en el escenario sin proyecto, es decir, que se continúe con la disposición total de los residuos orgánicos en un relleno sanitario, liberando gas metano a la atmósfera producto de la degradación anaerobia de la materia orgánica en el sitio de disposición final. Por otro lado, la curva verde representa las emisiones producidas luego de ejecutar el proyecto, es decir, a la masa de CO_2 equivalente generada en la planta de compostaje debido al gas metano y óxido nitroso emitidos durante el proceso de compostaje, y al consumo de combustibles fósiles y electricidad de la maquinaria y tecnología a utilizar.

La proyección de estas emisiones se hicieron en base a las suposiciones de que el número de habitantes de la comuna crece a través de los años, según la estimación de la población presente en la Figura 3.2, que su conducta no cambia, es decir, la tasa de generación de residuos va en aumento, considerando que la fracción orgánica se mantiene en 55 % (Figura 3.3), y las tasas de participación y captura establecidas en la Sección 3.3.

5.1. Discusión

A partir de la Figura 5.1, se puede observar que existe una reducción de la masa de CO_2 equivalente emitido cuando se realiza el proyecto, a partir del año 2023 (segundo año de operación). También, a medida que pasan los años, la brecha entre ambas curvas va aumentando, debido a la gran diferencia entre los factores de emisión de gas metano de la disposición final (626,9 y 578,9 kg CO_2 -eq/tonelada de residuo, para residuos orgánicos vegetales y del arbolado urbano, respectivamente) y del compostaje (8,9 kg CO_2 -eq/tonelada de residuo), y al aumento progresivo de la masa de residuos orgánicos que serán tratados en la planta de compostaje. En el año 2041, se llegan a evitar cerca de 8.000 toneladas de CO_2 equivalente, lo que representa un 85 % aproximadamente del total de las emisiones del caso sin proyecto, lo cual supone un beneficio considerable para la sociedad y medioambiente.

Por otra parte, como se mencionó anteriormente, la evaluación ambiental no incorpora la reducción de emisiones asociada al transporte de residuos orgánicos, la cual podría llegar a ser significativa, en el caso en que se siga disponiendo en el mismo lugar, dada la diferencia de las distancias recorridas para cada situación (640 km hacia el relleno sanitario versus 30 km hacia la planta de compostaje aproximadamente). Así, la masa de GEI evitadas por el proyecto sería aún mayor que lo determinado en este trabajo.

En cuanto a la estimación de la masa de CO_2 equivalente, se puede mencionar que ésta podría no ajustarse, necesariamente, a los valores reales. Lo anterior se puede deber a diversos factores que serán explicados a continuación:

Primero, con respecto a los supuestos utilizados, existen varios puntos a discusión. En primer lugar, la población no necesariamente irá en aumento, sino que se podría ver disminuida o aumentada por diversos factores externos. Por ejemplo, debido a la situación de pandemia mundial que se vive en la actualidad, la tasa de mortalidad ha aumentado, lo que tendrá un impacto directo en la tasa de crecimiento. Además, la finalización de la construcción del Puente Chacao está proyectado para el año 2025, donde se mejorará la conectividad entre el continente y la Isla, pudiendo producir migraciones entre la población de Ancud y comunidades aledañas. Por otro lado, no existe seguridad de que el comportamiento de las personas

en relación a la generación de residuos se mantenga en el tiempo, especialmente porque el proyecto considera un plan de educación ambiental hacia los habitantes de la comuna, de forma que haya una mayor consciencia ambiental, lo que podría tener como consecuencia la disminución en la producción de residuos por persona. Finalmente, la masa de residuos orgánicos a tratar está dada por las tasas de participación y captura que se definieron para en este trabajo, cuyo valor real es incierto y serán conocidos una vez que se implemente el proyecto.

En segundo lugar, las emisiones determinadas dependen directamente de la masa de residuos que se estimó y que, a su vez, depende de la tasa de generación de residuos. Como se detalló en el Capítulo 4, esta tasa fue estimada mediante la metodología propuesta en el reporte *What a Waste 2.0*, donde se toma como supuesto que esta tasa depende exclusivamente del PIB y del crecimiento de la población. De esta forma, no se toman en consideración otros elementos que podrían afectar la generación de residuos, como la localización geográfica específica, las estaciones del año, características culturales, entre otros. Por otra parte, debido a falta de indicadores económicos de la comuna de Ancud, se utilizaron los datos poblacionales de la región de Los Lagos y su respectivo PIB para calcular la tasa de generación de residuos, la cual fue utilizada, posteriormente, en conjunto con los datos poblacionales de Ancud, para obtener la cantidad de residuos generados por la comuna. Al usar la tasa de generación la región y no la de la comuna, puede existir una diferencia entre la cantidad de residuos generados real y estimada.

La razón por la cual se utilizó dicha metodología se debe a que los datos de la masa de residuos anuales dispuestos en relleno sanitario, entregados por el municipio de Ancud, a través del Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes (RETC), existen solamente entre los años 2014 y 2019, donde no existe una tendencia clara que pueda ser utilizada para generar una proyección.

También, los valores de los parámetros que se utilizaron en el modelo FOD son aquellos que la metodología propone por defecto, principalmente en vista de la inexistencia de datos reales en Chile, por lo que la estimación de las emisiones podrían variar si se ajustaran los parámetros al contexto en particular.

Por último, a pesar de que los parámetros utilizados para estimar las emisiones puedan ser actualizados posteriormente (la generación de residuos, por ejemplo), en este caso, la reducción de emisiones es significativa, por lo que se puede decir que el proyecto es viable desde una perspectiva ambiental.

Capítulo 6

Evaluación Privada

En este capítulo se presentan los resultados y discusiones de la evaluación económica privada del proyecto, que se realizó siguiendo la metodología específica de la Sección 4.2. Primero, se muestran los costos de inversión, costos de operación e ingresos del proyecto, y luego se indica el resultado de factibilidad económica. Para esto, se definen dos escenarios diferentes. El primero considera el financiamiento del proyecto con un 100 % de capital propio, mientras que el segundo contempla el subsidio del costo de las inversiones por parte del Estado.

6.1. Inversión

En la Tabla 6.1 se exponen los costos de inversión para cada una de las etapas del proyecto, considerando la ampliación de la planta de compostaje en los años 6 y 12, y la reinversión en la compra de nuevas membranas para el recubrimiento de las pilas de compostaje en el año 18. Los elementos principales de la inversión corresponden a la compra del terreno, la compra de la maquinaria y equipos necesarios para el compostaje, la construcción de la infraestructura y su equipamiento, y la compra de un kit de compostaje domiciliario, que consiste en 2 contenedores para residuos orgánicos para cada vivienda. El detalle de cada ítem se puede ver en el Anexo C.1.

Tabla 6.1: Inversión del proyecto. Fuente: Elaboración Propia.

Inversión	Año 0	Año 6	Año 12	Año 18
Terreno	\$ 13.612.877	\$ 0	\$ 0	\$ 0
Maquinaria y equipos	\$ 588.082.838	\$ 183.779.762	\$ 350.595.238	\$ 155.505.952
Obras civiles y equipamiento	\$ 596.493.998	\$ 402.746.938	\$ 506.876.309	\$ 0
Kits domiciliarios	\$ 144.167.432	\$ 57.719.157	\$ 43.157.721	\$ 0
Otros	\$ 79.612.857	\$ 44.707.293	\$ 57.526.463	\$ 0
Total (CLP)	\$ 1.421.970.002	\$ 688.953.150	\$ 958.155.731	\$ 155.505.952

6.2. Costos

En la Tabla 6.2 se encuentra un resumen de los costos principales del proyecto, que se asocian a la recolección diferenciada de los residuos orgánicos en los domicilios, la educación ambiental dirigida a la comunidad, y la operación de la planta de compostaje. El detalle de cada uno de estos costos se puede ver en el Anexo C.2.

Tabla 6.2: Costos del proyecto. Fuente: Elaboración Propia.

Costos	Año 1	Año 10	Año 20
Recolección diferenciada	\$ 38.663.400	\$ 77.326.800	\$ 115.990.200
Educación ambiental	\$ 40.000.000	\$ 40.700.000	\$ 40.700.000
Planta de compostaje	\$ 24.827.489	\$ 76.109.097	\$ 110.899.435
Total (CLP)	\$103.490.194	\$194.135.897	\$267.589.635

En la Tabla 6.3 se muestra el costo por tonelada de residuos orgánicos tratados, para cada una de las etapas del proyecto, asumiendo que la planta de compostaje está operando a máxima capacidad. La evolución de este costo a través del horizonte de evaluación se puede ver en el Anexo C.2.

Tabla 6.3: Costo por tonelada de residuo orgánico valorizado en la planta de compostaje. Fuente: Elaboración propia.

Capacidad de la planta (ton/año)	Costo por tonelada (CLP/ton)
4.200	\$ 32.061
6.400	\$ 30.539
11.000	\$ 24.358

6.3. Ingresos

La fuente de ingreso de este proyecto corresponde a la venta del compost producido, como se muestra en la Tabla 6.4. Para determinar este valor, se utilizó el precio de venta promedio a granel en la comuna de Ancud, que es de \$80.417 CLP/tonelada. Para mayor detalle sobre los ingresos anuales, revisar el Anexo C.3.

Tabla 6.4: Ingresos del proyecto. Fuente: Elaboración Propia.

	Año 1	Año 10	Año 20
Compost producido (ton/año)	101	2.146	3.825
Ingreso por venta de compost (CLP)	\$ 8.160.709	\$ 172.540.934	\$ 307.592.823

6.4. Análisis de factibilidad económica

A continuación analiza la factibilidad económica de los dos escenarios propuestos para el proyecto, a través de los indicadores de rentabilidad VAN y TIR, y un análisis de sensibilidad del VAN.

6.4.1. Escenario 1: Proyecto sin subsidio

El primer escenario a estudiar corresponde al financiamiento del proyecto con un 100% de capital del inversionista. En la Tabla 6.5, se muestran los indicadores de rentabilidad económica determinados a partir del flujo de caja del Anexo C.5, considerando una tasa de descuento del 12%.

Tabla 6.5: Indicadores de rentabilidad económica para el escenario 1.
Fuente: Elaboración Propia.

Indicador	Valor
VAN (CLP)	-2.406.001.240
TIR (%)	-

6.4.2. Escenario 2: Proyecto con subsidio

El segundo escenario a analizar corresponde al financiamiento del 100% de la inversión por parte del Estado (Tabla 6.1) y el resto de los costos por parte del inversionista. En la Tabla 6.6, se muestran los indicadores de rentabilidad económica determinados a partir del flujo de caja del Anexo C.6, considerando una tasa de descuento del 12%.

Tabla 6.6: Indicadores de rentabilidad económica para el Escenario 2.
Fuente: Elaboración Propia.

Indicador	Valor
VAN (CLP)	-368.829.477
TIR (%)	-

Como se puede ver en las Tablas 6.5 y 6.6, el indicador VAN del proyecto es negativo para ambos escenarios. Por este motivo, se realiza un análisis de sensibilidad, a modo de determinar el caso en que el proyecto podría tener un VAN positivo.

6.4.3. Análisis de sensibilidad

El análisis de sensibilidad que se efectúa a continuación corresponde a la variación del VAN con respecto al precio del compost, para ambos escenarios (Figura 6.1). Se escoge este parámetro debido a que es un valor que puede cambiar según la calidad y el formato del producto vendido y tiene una directa relación con los ingresos que percibe el proyecto, impactando directamente en su rentabilidad.

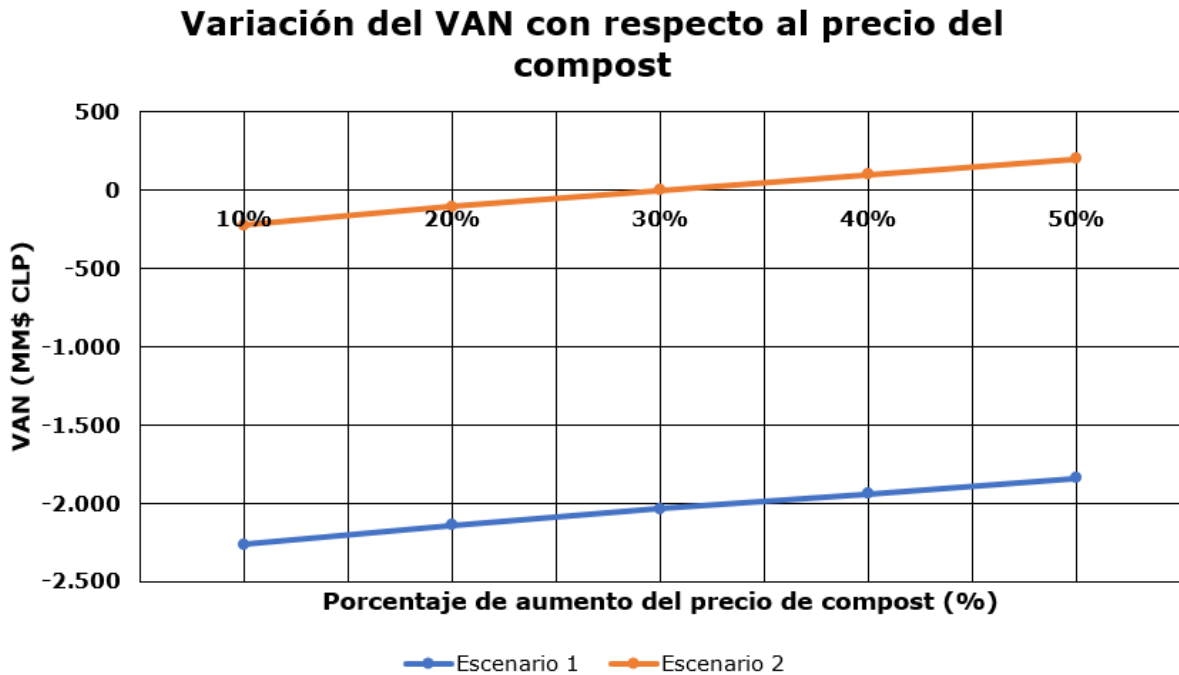


Figura 6.1: Variación del VAN con respecto a la variación del precio del compost. Fuente: Elaboración propia.

6.5. Discusión

A partir de los indicadores de rentabilidad presentes en las Tablas 6.5 y 6.6, se puede observar que el VAN del proyecto es negativo para ambos escenarios y que no es posible calcular la TIR. De esta forma, se puede determinar que el proyecto no es económicamente factible privadamente para ninguno de los dos casos propuestos.

Cuando se comparan ambos escenarios, se puede ver que el VAN en el segundo caso (subsidio a la inversión) es cerca de 7 veces mayor que el VAN del primero, principalmente porque el costo de la inversión tiene un valor elevado, con un total de \$3.200 MCLP aproximadamente (sumando las inversiones y reinversiones de todos los años en evaluación), cifra que es de una orden de magnitud más grande que los ingresos del proyecto. Por lo tanto, cuando este costo es financiado externamente, la rentabilidad del escenario 2 aumenta.

Al realizar el análisis de sensibilidad del VAN con respecto al precio del compost (Figura 6.1), se obtiene que para el primer caso, el proyecto no es rentable incluso cuando el precio del compost aumenta en un 50 % su valor, lo cual ya constituye a un escenario poco probable de ocurrir. Para el segundo caso, en cambio, el proyecto comienza a ser factible cuando se considera un aumento del precio del compost de un 30 %, que es un valor ligeramente más alto (5 %) que el máximo que existe en el mercado actualmente. Una forma de cobrar este precio podría ser a través de la venta del producto en empaques de tamaño pequeño, y si el compost producido es de buena calidad, según los estándares de la Norma Chilena 2.880.

Por otro lado, al analizar el costo por tonelada de residuo orgánico valorizado, se observa que éste fluctúa entre los \$ 24.400 y \$ 32.100 CLP/ton (Tabla 6.3), para las distintas capaci-

dades de la planta. Si se compara con los costos que tiene actualmente la recolección (\$ 17.000 CLP/ton), transporte (\$ 75.000 CLP/ton) y disposición (\$ 16.000 CLP/ton) de los residuos en el relleno sanitario de la comuna de Los Ángeles, es evidente que el costo del compostaje de los residuos orgánicos es menor que en la situación actual. No obstante, este valor está sujeto al cálculo de los costos totales de operación del proyecto, de lo cual se discutirá más adelante.

La rentabilidad del proyecto se ve afectada por la determinación de los diferentes componentes del flujo de caja, donde existen varios puntos a discusión:

Primero, tanto el costos de inversión del sistema de compostaje con aireación forzada como de las obras civiles fueron obtenidas a partir de extrapolaciones lineales de cotizaciones de plantas de compostaje de menor tamaño que la que propone en este trabajo, y no a través del dimensionamiento y posterior cotización directa de éstos. Así, es probable que estos valores estén sobre estimados y sean menores por economías de escala.

En segundo lugar, al comparar los valores de los costos y los ingresos (Anexo C.5 y C.6), se puede observar que existen pérdidas en los primeros 13 años de funcionamiento de la planta de compostaje, debido a que el nivel de producción y, por tanto, los ingresos percibidos, no alcanzan para cubrir los costos fijos del proyecto ni el costo de las inversiones. El nivel de producción está directamente asociado con las tasas de participación y captura fijadas, las cuales recién alcanzan un valor de 85 % y 60 %, respectivamente, a partir del año 14 de la evaluación. Como ya se discutió anteriormente, la estimación de estas estas tasas está sujeta a incertidumbre y su valor real será conocido una vez que el proyecto sea ejecutado.

Una forma de aumentar los ingresos del proyecto es incorporando los residuos orgánicos provenientes del sector HORECA y/o industrial, puesto que al ser entidades privadas, se les puede cobrar un precio por el servicio de tratamiento de los residuos. Sin embargo, en este caso, la probabilidad de que el Estado subsidie la inversión del proyecto es baja.

Por otra parte, al analizar los diferentes costos del proyecto, se tiene que la recolección diferenciada representan un 40 % de los costos totales aproximadamente, valor que está dentro de los rangos registrados en bibliografía [64][65]. No obstante, para calcular los costos de la recolección diferenciada, sólo se consideró la distancia recorrida desde Ancud hacia la planta de compostaje, despreciando la distancia interna recorrida (dentro de la ciudad) para el retiro de los residuos orgánicos. También, se asumió que el rendimiento específico del camión recolector es de 1 km/L [66][67], ya que no se cuenta con el dato real de este parámetro. Al determinar el número de camiones requeridos para el funcionamiento del proyecto, no se realizó una optimización de la utilización de la capacidad del camión ni de la logística del transporte hacia la planta de compostaje, lo cual influye de forma directa en el costo total asociado al combustible y los sueldos de conductores y peonetas.

Para mejorar la rentabilidad del proyecto, se pueden buscar formas de reducir el costo de la recolección diferenciada. Una de ellas es la utilización de un sistema que recoja diferentes tipos de residuos reciclables inorgánicos al mismo tiempo que los residuos orgánicos, o que se cobre una tarifa anual a los usuarios por el servicio de retiro de los residuos. Para que el VAN del proyecto sea 0, el monto de esta tarifa tendría que ser de \$52.100 y \$4.800

CLP/vivienda/año para el escenario 1 y 2, respectivamente. La mayor dificultad que puede existir con este esquema de financiamiento es la resistencia de la población a pagar por un servicio extra, considerando que ya existe un pago fijo por los derechos de aseo, donde no se les cobra ni por cantidad ni tipo de residuos producidos. Además, en Ancud existe una alta exención del pago de esta tarifa, producto de los niveles de pobreza de la zona, por lo que podría ser difícil para algunos habitantes realizar este tipo de pago. Este costo se podría eliminar si en vez de proporcionar el servicio de recolección diferenciada, se instala un centro de acopio donde los habitantes de la comuna puedan ir a dejar sus residuos orgánicos, sin embargo, esta opción puede implicar que una menor población participe y, en consecuencia, no se cumplan las metas de valorización de la Estrategia Nacional de Residuos Orgánicos para la comuna.

Con respecto al costo de operación de la planta de compostaje, se tiene que los consumos de combustible y electricidad de la maquinaria y equipos requeridos y los costos de mantenimiento fueron obtenidos de bibliografía [68], al igual que la dotación del personal de operación de la planta. Para determinar los sueldos, se realizó una extrapolación lineal del número de operarios requeridos, pero no se consideró la utilización de turnos y jornadas de trabajo.

En relación al costo de la educación ambiental, este fue obtenido a partir de una cotización del “Programa de Compostaje y Huertos Orgánicos” de la Municipalidad de Concepción. Se destaca la importancia que tiene destinar recursos monetarios para este fin, ya que tiene un impacto directo en el éxito del proyecto, para asegurar el cumplimiento de las metas de participación y captura establecidas. Por lo tanto, se recomienda no disminuir este costo.

Finalmente, los costos totales del proyecto podrían ser modificados, al ajustar y optimizar los parámetros antes mencionados.

Capítulo 7

Evaluación Social

Este capítulo se muestran los resultados y discusiones correspondientes a la evaluación social del proyecto, realizada a partir de la metodología planteada por el Ministerio de Desarrollo Social y Familia (Ver Sección 2.3.2.1). En una primera instancia, se presentan los costos de inversión, costos de operación, beneficios y externalidades asociados al proyecto. Luego, se entregan los indicadores de rentabilidad social y un análisis de sensibilidad del VAN. La metodología específica seguida se encuentra en la Sección 4.3.

7.1. Inversión

A continuación se presentan los costos de inversión para los años 0, 6 y 12 del proyecto, además del costo de la reinversión en el año 18 (Tabla 7.1). Los valores corresponden a los expuestos en la evaluación privada, pero ajustados a los precios sociales indicados por el Sistema Nacional de Inversiones (SNI) [63]. El detalle de cada una de las categorías de la inversión y los factores de conversión utilizados se pueden ver en el Anexo D.2.

Tabla 7.1: Inversión del proyecto, ajustada a precios sociales. Fuente: Elaboración Propia.

Inversión	Año 0	Año 6	Año 12	Año 18
Terreno	\$ 13.612.877	\$ 0	\$ 0	\$ 0
Maquinaria y equipos	\$ 488.771.204	\$ 150.473.750	\$ 287.057.615	\$ 127.323.942
Obras civiles y equipamiento	\$ 472.128.103	\$ 319.124.671	\$ 401.176.276	\$ 0
Kits domiciliarios	\$ 121.149.103	\$ 48.503.493	\$ 36.266.993	\$ 0
Otros	\$ 65.073.064	\$ 36.178.003	\$ 46.515.044	\$ 0
Total (CLP)	\$ 1.160.734.351	\$ 554.279.917	\$ 771.015.928	\$ 127.323.942

7.2. Costos

La Tabla 7.2 muestra un resumen de los costos principales del proyecto, ajustados a los precios sociales. Los factores de corrección utilizados y el detalle de cada uno de estos costos a lo largo del horizonte de evaluación se pueden ver en los Anexos D.1 y D.3, respectivamente.

Tabla 7.2: Costos del proyecto, ajustados a precios sociales. Fuente: Elaboración Propia.

Costos	Año 1	Año 10	Año 20
Recolección diferenciada	\$ 26.667.160	\$ 53.334.320	\$ 80.001.480
Educación Ambiental	\$ 39.200.000	\$ 39.968.000	\$ 39.968.000
Planta de compostaje	\$ 20.102.161	\$ 54.819.800	\$ 78.617.097
Total (CLP)	\$ 85.969.321	\$ 148.122.120	\$ 198.586.577

En la Tabla 7.3 se muestra el costo por tonelada de residuos orgánicos tratados (ajustado a precios sociales), para cada una de las etapas del proyecto, asumiendo que la planta de compostaje está operando a máxima capacidad.

Tabla 7.3: Costo por tonelada de residuo orgánico valorizado en la planta de compostaje. Fuente: Elaboración propia.

Capacidad de la planta (ton/año)	Costo por tonelada (CLP/ton)
4.200	\$ 25.593
6.400	\$ 23.289
11.000	\$ 18.076

7.3. Beneficios

En la Tabla 7.4 se encuentran los beneficios monetarios de la implementación del proyecto, que corresponden a:

- **Ahorro de costos por producción de compost:** El compost producido implica una reducción de costos para el municipio, al evitar la compra de fertilizantes para su utilización en la comuna.
- **Ahorro de costos por menor disposición de masa de residuos en relleno sanitario:** A través del tratamiento de residuos orgánicos, existe una reducción en la masa de residuos que se traslada e ingresa al relleno sanitario. Ésto representa un ahorro para el municipio, tanto en el costo de transporte de los residuos como del pago de la tarifa de disposición final en un lugar autorizado.

Tabla 7.4: Beneficios del proyecto. Fuente: Elaboración Propia.

Beneficios	Año 1	Año 10	Año 20
Producción de compost	\$ 8.160.709	\$ 172.540.934	\$ 307.592.823
Menor disposición de residuos	\$ 25.679.244	\$ 542.933.276	\$ 967.900.052
Total (CLP)	\$ 33.839.953	\$ 715.474.210	\$ 1.275.492.875

Para ver el detalle de los beneficios a través de los años, revisar el el Anexo D.4.

7.4. Externalidades

La ejecución del proyecto produce una externalidad positiva, al emitir una menor masa de gases de efecto invernadero que en el escenario donde no se realiza el proyecto, tal como se presentó en el Capítulo 5. En la Tabla 7.5, se muestra el beneficio monetario total asociado a la reducción de las emisiones de GEI. Para su determinación, se utilizó el precio social del CO_2 de \$23.926 CLP/tonelda de CO_2 [63].

Tabla 7.5: Externalidades del proyecto. Fuente: Elaboración Propia.

	Año 1	Año 10	Año 20
Emisiones de GEI reducidas (ton CO_2 -eq)	41	-3.078	-8.381
Externalidad por reducción de emisiones (CLP)	\$ -974.987	\$ 73.651.116	\$ 200.520.161

En el primer año de operación del proyecto, se emite una mayor masa de CO_2 equivalente en la planta de compostaje que en la situación sin proyecto, por lo que en este año, se genera una externalidad negativa y por lo tanto, corresponde a un costo. Sin embargo, desde el segundo año de operación en adelante, las emisiones del proyecto son menores y se convierten en beneficios, como se puede ver en el Anexo D.5.

7.5. Análisis de Factibilidad

A continuación se analiza la factibilidad social del proyecto a evaluar, a través de los indicadores VAN y TIR, y un análisis de sensibilidad del VAN.

7.5.1. Indicadores de rentabilidad

En la Tabla 7.6, se muestran los indicadores de rentabilidad social determinados a partir del flujo de caja del Anexo D.6 y considerando una tasa social de descuento del 6%.

Tabla 7.6: Indicadores de rentabilidad social del proyecto. Fuente: Elaboración Propia.

Indicador	Valor
VAN (CLP)	2.946.649.606
TIR (%)	16

El resultado obtenido es favorable, dado que el VAN del proyecto es positivo, y la TIR es mayor a la tasa de descuento utilizada. No obstante, como se presentó en la Tabla 7.4, el mayor beneficio del proyecto es el ahorro de costos por menor disposición de residuos en un relleno sanitario, lo cual está directamente relacionado con la distancia a la que éste se encuentra de la comuna de Ancud, que es de más de 600 km. Debido a esto, se decide realizar un análisis de sensibilidad del VAN con respecto a dicha distancia, para estudiar la conveniencia del proyecto en caso de que se cambie el sitio de disposición final.

7.5.2. Análisis de sensibilidad

En la Figura 7.1, se presenta el análisis de sensibilidad realizado, que corresponde a la variación del VAN al disminuir del relleno sanitario.

Variación del VAN con respecto a la distancia del relleno sanitario

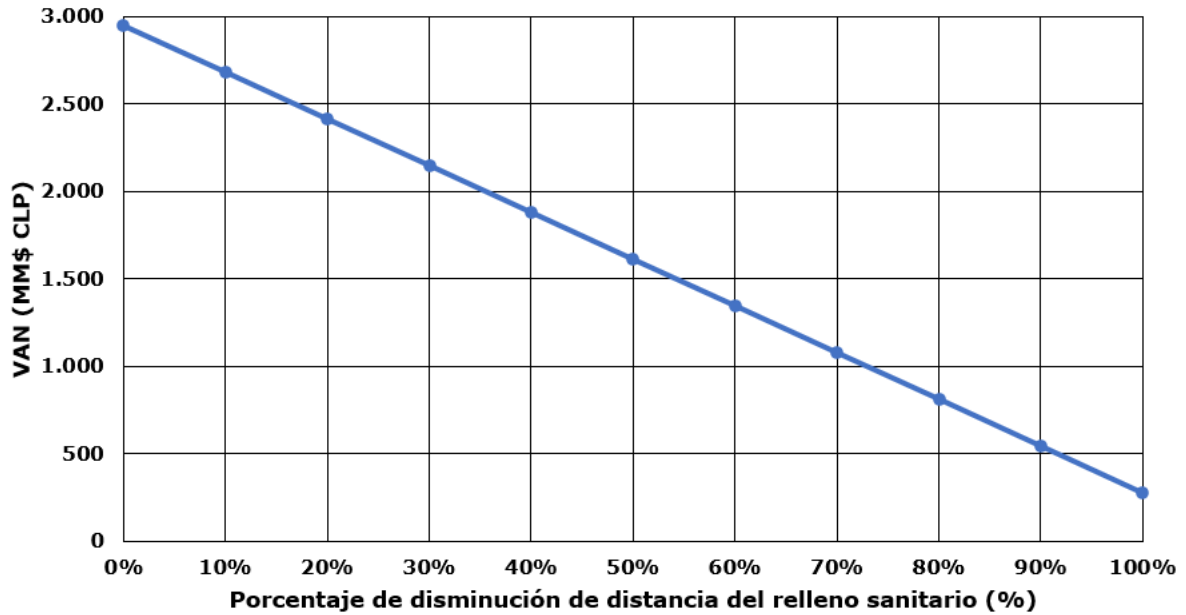


Figura 7.1: Variación del VAN con respecto a . Fuente: Elaboración propia.

7.6. Discusión

A partir de los indicadores obtenidos presentes en la Tabla 7.6, se puede determinar que el proyecto es rentable socialmente y por lo tanto, es conveniente realizarlo desde una perspectiva social. Esto se debe a que la evaluación social incorpora múltiples beneficios que, en este caso, son mayores a los costos del proyecto desde el tercer año de la evaluación (Ver Anexo D.6).

Al realizar el análisis de sensibilidad, se puede observar que el proyecto es rentable incluso cuando no se toma en consideración el beneficio asociado a la menor disposición de residuos en el relleno sanitario, ya que el VAN del proyecto sigue siendo positivo cuando la distancia del sitio de disposición final disminuye en un 100%, es decir, cuando éste se encuentra a 0 km de la comuna de Ancud. De esta forma, no importa si el sitio de disposición final cambia a uno más cercano (como el relleno sanitario de la comuna de Puertos Varas, por ejemplo), el proyecto es factible de realizar solamente tomando en cuenta los beneficios de producción de compost y reducción de emisiones de GEI.

En relación a los beneficios determinados en la evaluación, es importante mencionar que se consideraron sólo aquellos planteados en la metodología del Ministerio de Desarrollo Social y Familia, principalmente debido a la facilidad de cuantificarlos y valorarlos en términos monetarios. No se añadieron otros beneficios que son de carácter más bien cualitativo, debido a la dificultad que existe para ponerle precio a este tipo de aspectos.

Para obtener el beneficio de ahorro de costos por producción de compost, se utilizó el precio de mercado del compost, debido a que el SNI no cuenta con un valor social para este

producto y la metodología indica que en mercados competitivos el precio de mercado refleja el precio social de bienes o servicios [45].

Para calcular el ahorro de costos por menor disposición de masa de residuos en el relleno sanitario, se consideraron los mismos parámetros que en la evaluación privada (distancia recorrida y rendimientos del camión recolector) pero se utilizó el precio social del diésel, tanto para la situación con proyecto como para la situación sin proyecto. Sin embargo, no se incluyeron los costos sociales del tiempo de viaje ni de la operación vehicular porque no se contaban con los datos necesarios para su cálculo.

Ahora, con respecto a las externalidades determinadas, se destaca que únicamente se incluyó la reducción de emisiones asociadas al tratamiento directo de los residuos orgánicos en la planta de compostaje, y no se abarcaron las emisiones reducidas producto del transporte de estos residuos, puesto que no pudieron ser estimadas previamente en el Capítulo 5. Como el proyecto ya es rentable al incluir lo primero, si se incorporase lo segundo, se tendría como consecuencia la obtención de un beneficio y una rentabilidad mayores que la obtenida en este trabajo.

Finalmente, al igual que en la evaluación privada del proyecto, existe incertidumbre tanto en los costos previstos para la inversión como la operación del proyecto, debido a los supuestos y parámetros utilizados en su determinación. No obstante, a pesar de que estos valores puedan ser modificados en el futuro, es posible ver que este proyecto trae consigo mayores beneficios y, por lo tanto, la inversión en la construcción de la planta de compostaje en Ancud es recomendable desde el punto vista del bienestar de la sociedad.

Capítulo 8

Reflexiones Generales

8.1. Trabajo realizado

A partir de los resultados, se pudo ver que la evaluación privada tiene una rentabilidad negativa, es decir, el proyecto no debería ser implementado bajo este resultado, en cambio, la evaluación social muestra que el proyecto sí es rentable de manera social. Esto se debe a que la evaluación con criterios privados no reconoce los beneficios que el proyecto genera hacia la sociedad que, en este caso, son múltiples. Un ejemplo de esto es la reducción significativa de las emisiones de gases de efecto invernadero, tal como se evidenció en la evaluación ambiental.

Desde el punto de vista de la municipalidad como ejecutor del proyecto, la evaluación social tiene desventajas al utilizar los precios sociales, debido a que su resultado no representará los verdaderos costos que tendrá el proyecto en la realidad. Los gastos a los que tendrá que incurrir el municipio estarán en precios de mercado, como la compra de los equipos y la maquinaria requerida, el pago de los sueldos a los trabajadores, la compra de los insumos como el combustible, entre otros. De este modo, el resultado proveniente de la evaluación privada es más acertado. Ahora bien, para el caso de este proyecto, este resultado es negativo y, bajo este principio, el municipio no debería ejecutarlo, a pesar de todos los beneficios que éste entrega a la sociedad. Es en esta situación donde el rol del Estado entra en juego, puesto que éste deberá brindar apoyo a esta iniciativa, a través del subsidio de la inversión y del capital de trabajo inicial, por ejemplo, para que el proyecto sea más atractivo, tenga una mayor rentabilidad y pueda lograr ser ejecutado por el municipio o el sector privado.

Lo anterior da cuenta de la relevancia que tiene la evaluación social como herramienta para la toma de decisiones en Chile, ya que ésta permite obtener una información más amplia sobre los beneficios y costos que tiene el proyecto en la sociedad y, en base a eso, decidir acerca de su ejecución: ¿se debe o no implementar el proyecto?, ¿qué entidad debe ejecutarlo, pública o privada?, ¿debe el Estado subsidiarlo? [44].

Por otro lado, como la evaluación social se realiza a partir de un enfoque costo-beneficio o costo-eficiencia, se requiere que todos los impactos estén medidos bajo la misma métrica que, en este caso, es la monetarización. Esto posibilita la comparación entre las diferentes alternativas que podrían existir para resolver la misma problemática y así, priorizar los recursos que se entregan por parte del Estado.

Sin embargo, al tratar de valorizar los diferentes beneficios y costos del proyecto, se dejan fuera aquellos que son difíciles de cuantificar o que derechamente no son cuantificables y valorizables en términos monetarios, y que pueden ser igual de relevantes que los que sí lo son. En este trabajo en particular, la evaluación social recoge ciertos impactos del proyecto, pero se pueden dar algunos ejemplos de beneficios que no están siendo atribuidos y son interesantes de estudiar:

- Disminución de la tasa de morbilidad de la población, al disminuir los impactos negativos que se asocian a la disposición final de residuos orgánicos (exposición a vectores sanitarios, contaminación del agua y suelo, entre otros), sobretodo en los sitios que no están diseñados para minimizar los riesgos a la salud y seguridad de la población.
- Menor explotación de recursos naturales, puesto que cuando se utiliza compost como fertilizante natural, se disminuye la fabricación de fertilizantes sintéticos para su utilización.
- Alargamiento de la vida útil de los rellenos sanitarios existentes, lo cual previene, en un largo plazo, la demanda de nuevos terrenos para la construcción de nuevos rellenos sanitarios, evitando los impactos negativos que éste tiene en la sociedad y medioambiente.
- Avance hacia una economía circular, ya que el compostaje de los residuos orgánicos permite recuperar los nutrientes esenciales en los suelos, maximizando su valor a través del tiempo.

Al utilizar la lógica de costo-beneficio o costo-eficiencia, se estará escogiendo aquel proyecto que tenga una mayor rentabilidad, lo que significa tener un mejor uso de recursos y mayores beneficios. Este enfoque, entonces, no mide necesariamente el progreso hacia una economía más circular, sino más bien el consumo reducido de los recursos [69]. De este modo, la utilización de este tipo de enfoque no es suficiente como instrumento de toma de decisiones para determinar y considerar todos los aspectos de un proyecto.

En este sentido, existen dos opciones para mejorar esta situación. La primera es seguir desarrollando herramientas que permitan cuantificar y valorar estos impactos de una mejor manera. Sin embargo, bajo esta opción, surgen las siguientes interrogantes: ¿es realmente posible valorar todos los aspectos bajo una misma métrica?, ¿qué tan confiables y justas podrían llegar a ser estas valoraciones?, ¿se estará midiendo el grado de circularidad del proyecto? Algunos expertos indican que es imposible ponerle precio al valor de la vida, la salud y la naturaleza [70].

Como segunda alternativa está el empleo de un nuevo instrumento de evaluación, que incluya tanto aspectos cuantitativos como cualitativos, numéricos y no numéricos, abarcando así, las diferentes dimensiones que tiene el proyecto. A modo de ejemplo, esto se podría realizar mediante la utilización de un indicador que esté conformado por diversos componentes de criterios de decisión.

8.1.1. Otras herramientas de apoyo para la toma de decisiones

Dentro de las herramientas más utilizadas para el apoyo a la toma de decisiones, se pueden mencionar dos alternativas al análisis costo-beneficio, que serán explicadas a continuación:

8.1.1.1. Análisis de Sostenibilidad de Ciclo de Vida

El Análisis de Sostenibilidad de Ciclo de Vida (LCSA, por sus siglas en inglés) es una herramienta utilizada para evaluar los potenciales impactos ambientales, económicos y sociales que tiene un producto o una actividad a lo largo de todo su ciclo de vida. Esta metodología integra los tres pilares de la sustentabilidad de la siguiente forma [71]:

$$LCSA = ELCA + LCC + SLCA \quad (8.1)$$

Donde:

- LCSA: corresponde al Análisis de Sostenibilidad de Ciclo de Vida.
- ELCA: corresponde al Análisis de Ciclo de Vida ambiental y evalúa la dimensión ambiental.
- LCC: corresponde al Análisis de Costes de Ciclo de Vida y evalúa la dimensión económica.
- SLCA: corresponde al Análisis de Ciclo de Vida Social y evalúa la dimensión social.

El desempeño de un proyecto se determina a través del cálculo de indicadores para diferentes categorías de impacto, en cada una de las dimensiones del LCSA. De éstas, el ELCA es la herramienta que se encuentra más estandarizada y su procedimiento está descrito por la serie de normas ISO 14040 [72][73]. Dentro de los impactos más comunes que son cuantificados están el potencial de calentamiento global, agotamiento del ozono estratosférico, acidificación, eutrofización, toxicidad humana, entre otros [73][74]. Por otro lado, algunos de los impactos que se evalúan en el LCC son los costos de inversión, de materia prima, producción, operación y mantenimiento [74]. Finalmente, el SLCA es una herramienta que aún se encuentra en desarrollo y, por lo tanto, no existe una lista determinada de indicadores que pueden ser utilizados para evaluar socialmente un proyecto, principalmente porque algunos de ellos son de carácter cualitativo [74]. Como solución a esto, la participación de las diferentes partes interesadas (trabajadores, comunidad local, consumidores) es recomendada para la determinación del desempeño social [75].

Una limitación del LCSA es la comparación entre distintas alternativas, esto debido a la obtención de una gran cantidad de datos para cada una de ellas (se han reportado la inclusión de más de 40 indicadores en algunos estudios de sostenibilidad). En consecuencia, la interpretación de los resultados es compleja y generalmente la mejor solución al problema no es evidente [76].

8.1.1.2. Análisis Multicriterio

El Análisis Multicriterio (MCDA, por sus siglas en inglés) es una herramienta de apoyo a la toma de decisiones que evalúa simultáneamente diferentes alternativas a un determinado problema, considerando varios criterios [46]. Este instrumento es útil cuando existen intervenciones donde la cuantificación de los impactos es compleja, cuando los impactos están medidos en diferentes unidades o son de carácter cualitativo [77].

Un método de MCDA es el Proceso Analítico Jerárquico (PJA o AHP, por sus siglas en inglés), donde se establece subjetivamente la importancia relativa de cada uno de los criterios

de evaluación y la preferencia entre las alternativas de decisión y los criterios, obteniéndose como resultado una jerarquización con prioridades que indica la preferencia global para cada una de las alternativas [78]. De esta forma, el método AHP permite comprender de mejor manera las características de un problema de decisión y promueve la participación de las diferentes partes interesadas en el proceso de toma de decisiones [79].

8.1.1.3. Integración de las herramientas

Para el caso particular de este estudio, el Análisis de Sostenibilidad de Ciclo de Vida y el Análisis Multicriterio AHP son herramientas útiles que pueden ser utilizadas para efectuar una evaluación más exhaustiva del proyecto e incorporar las variables no cuantitativas dentro del análisis. Además, es posible combinar ambas herramientas y así comparar entre las distintas alternativas de manejo de residuos orgánicos que puedan existir. Esto se podría realizar de la siguiente manera (Figura 8.1):

En primer lugar, se deben seleccionar y determinar los indicadores de desempeño de impacto ambiental, económico y social a utilizar. Luego, se debe asignar una importancia relativa a cada uno de ellos y a cada uno de los aspectos de la sostenibilidad. Así, luego del procesamiento de los datos, se obtendrá la mejor solución al problema. Para esto es necesario la incorporación de los diversos actores afectados por la iniciativa, como los residentes de la comuna, el municipio, expertos, de forma que todos los puntos de vista estén representados y la toma de decisiones sea más justa.

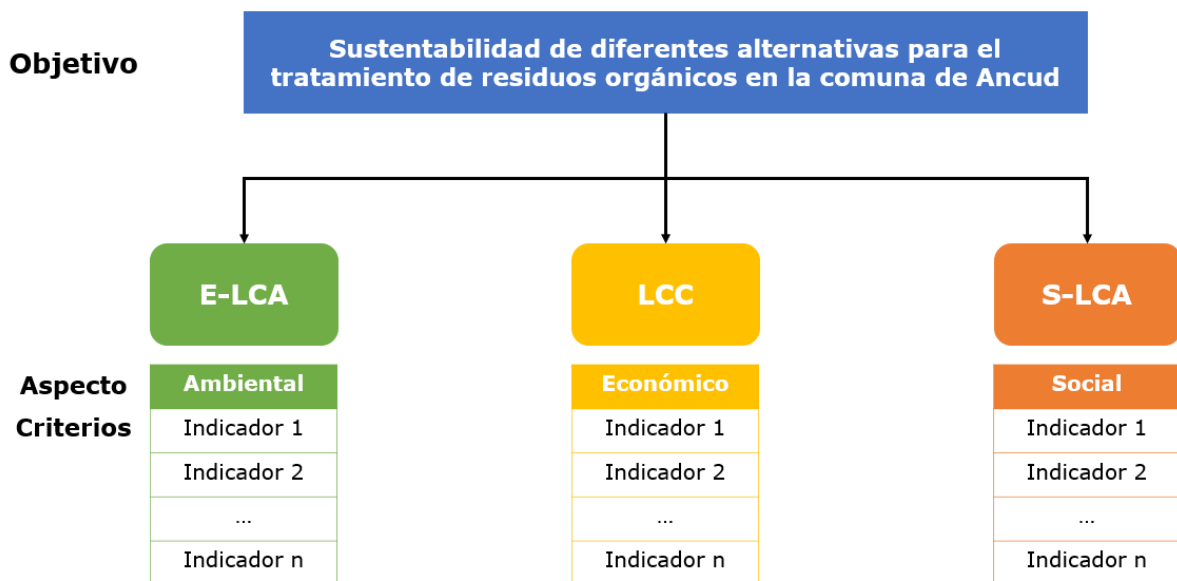


Figura 8.1: Integración de LCSA y AHP para la toma de decisiones.

Fuente: Elaboración propia, adaptado de [74].

Una desventaja de realizar este tipo de evaluación es la complejidad, ya que se requiere una alta inversión de tiempo, recursos, capacidad técnica y datos.

8.2. Recomendaciones

Luego de todo trabajo realizado, es posible realizar algunas recomendaciones para mejorar la exactitud y realismo de este estudio. Dentro de lo más relevante, está la obtención de mayor y más detallada información sobre el caso de estudio. En particular, se requieren los valores reales de las variables que fueron utilizadas en la evaluación ambiental, económica y social.

En primer lugar, se sugiere realizar un estudio más profundo sobre los residuos producidos en la comuna, para determinar el porcentaje real de los residuos orgánicos domiciliarios que serían adecuados para ser compostados en la planta de compostaje. También, se requiere tener información sobre la masa de residuos orgánicos producidos actualmente por el manejo del arbolado urbano, y su respectivos costos de recolección y disposición. Asimismo, se deben obtener los valores actuales del consumo de combustible del camión recolector, el número de viajes que realizan los camiones hacia el sitio de disposición final, la logística de recolección de los residuos, entre otros. Para esto, hubiese sido adecuado mejorar la comunicación con el área de Aseo y Ornato de la Municipalidad de Ancud.

Para el caso de la evaluación ambiental, se recomienda ajustar los parámetros utilizados para la determinación de los gases de efecto invernadero en el sitio de disposición final, lo cual se puede realizar a través del monitoreo y medición de estos parámetros en el lugar. De igual forma, es relevante incorporar las emisiones de los gases de efecto invernadero evitados producto del transporte de los residuos orgánicos, debido a la gran diferencia que existe entre la distancias del relleno sanitario y la planta de compostaje.

En la evaluación privada y social, se deben conocer de forma más precisa los costos de inversión. Esto se puede realizar a través del dimensionamiento de los equipos a utilizar, determinando el consumo eléctrico, de combustible y el espacio requerido para la construcción de la planta de compostaje, para luego cotizar de forma directa estos costos con proveedores. Además, se podría ampliar el alcance de este proyecto e incluir los residuos provenientes del sector HORECA, industrial o ferias libres, y posteriormente analizar la rentabilidad de este nuevo escenario.

Finalmente, sería oportuno evaluar de forma más profunda el proyecto, incluyendo aquellos aspectos que no cuantificables ni monetarizables. En particular, es importante determinar el impacto asociado a la salud de la población y el avance hacia una economía más circular. Para esto, se recomienda la utilización de otras metodologías de evaluación de alternativas, como el análisis multicriterio o el análisis de ciclo de vida. Incluso podría ser recomendable la creación de una nueva herramienta para la evaluación de proyectos, de acuerdo a lo discutido anteriormente.

Capítulo 9

Conclusiones

Para el desarrollo de este trabajo, se elige la comuna de Ancud como caso de estudio, a partir de la crisis sanitaria y ambiental que existe actualmente en la Isla de Chiloé, debido a la falta de sitios de disposición final que cuenten con la normativa vigente para disponer los residuos producidos por la comuna. Así, se seleccionan los residuos orgánicos domiciliarios vegetales y aquellos provenientes del manejo del arbolado urbano como materia prima para ser valorizados en una planta de compostaje.

Se establece como tecnología a utilizar la técnica de pilas estáticas con aireación forzada y cubiertas semipermeables. Además, se determinan tres capacidades diferentes para el tratamiento de los residuos orgánicos de 4.200, 6.400 y 11.000 ton/año, para los años 1-6, 7-12 y 13-20 del horizonte de evaluación del proyecto, respectivamente.

En relación a la evaluación ambiental, se logró estimar la reducción de gases de efecto invernadero asociada al compostaje de los residuos orgánicos, en vez de su disposición final. Se obtuvo que con la implementación del proyecto, se evitan cerca de 8.000 toneladas de CO_2 equivalente para el año 2041, que representan un 85 % del total de las emisiones que serían emitidas en la situación sin proyecto.

En la evaluación privada, se evaluaron dos escenarios diferentes, utilizando una tasa de descuento del 12 %. En el primer caso, donde el financiamiento del proyecto proviene completamente del inversionista, se obtuvo una rentabilidad negativa, con un VAN de \$ -2.406 MCLP. En el segundo caso, donde el Estado subsidia la inversión del proyecto, también se obtuvo una rentabilidad negativa, con un VAN de \$ -369 MCLP. A partir del análisis de sensibilidad realizado, se determinó que al aumentar el precio de venta del compost en un 30 %, el segundo escenario logra tener una rentabilidad positiva.

Con respecto a la evaluación social, se pudo aplicar la metodología del Ministerio de Desarrollo Social y Familia y se cuantificaron los principales beneficios y costos sociales del proyecto. Como resultado, se obtuvo que el proyecto es socialmente rentable, con un VAN de \$ 2.947 MCLP, utilizando una tasa social de descuento del 6 %.

Considerando todos los resultados obtenidos y el contexto nacional de la implementación de la Estrategia Nacional de Residuos Orgánicos, se concluye que es factible la realización del proyecto, al tener una rentabilidad social positiva y dado que genera múltiples beneficios

hacia la sociedad y medioambiente. Sin embargo, para fortalecer este tipo de proyectos, se requiere el apoyo del Estado mediante subsidios, como forma de aumentar la rentabilidad privada y mejorar el atractivo del proyecto. De esta forma, se recomienda seguir a una etapa de ingeniería básica y analizar de manera más profunda los ejes examinados en este estudio.

Por último, analizando el trabajo que se llevó a cabo, se destaca la importancia utilizar una nueva herramienta de evaluación para la toma de decisiones, que incluya tanto elementos cualitativos como cuantitativos, de modo que se abarquen todas dimensiones que tiene el proyecto. Se sugiere utilizar otros instrumentos como el análisis de ciclo de vida y el análisis multicriterio, o la creación de un indicador que esté conformado por múltiples componentes.

Bibliografía

- [1] KAZA, S., YAO, L., BHADA-TATA, P. Y VAN WOERDEN, F. 2018. What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050. World Bank Publications. [En línea] <<https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/30317/2113290v.pdf>> [Última consulta: 15 marzo 2021]
- [2] CEPAL. Guía general para la gestión de residuos sólidos domiciliarios. [En línea] <<https://www.cepal.org/es/publicaciones/40407-guia-general-la-gestion-residuos-solidos-domiciliarios>> [Última consulta: 15 marzo 2021]
- [3] SINIA. 2020. Informe del Estado del Medio Ambiente. [En línea] <https://sinia.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2021/10/IEMA-2020_consolidado_final-comprimido.pdf> [Última consulta: 15 marzo 2021]
- [4] MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. 2021. Estrategia Nacional de Residuos Orgánicos Chile 2040. [En línea] <<https://economiacircular.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2021/03/Estrategia-Nacional-de-Residuos-Organicos-Chile-2040.pdf>> [Última consulta: 23 marzo 2021]
- [5] P. BARRA, J. MUÑOZ Y J. ARELLANO. 2011. Definir cuales Residuos Peligrosos se podrán manejar en un Centro de Acopio, e identificar las exigencias respectivas. INFORME FINAL. [En línea] <http://www.cenma.cl/Pagina%20web-LQA/5-Estudios%20Ambientales/INFORME_FINAL_TDR_12_Barra_27_12_2011.pdf> [Última consulta: 2 abril 2021]
- [6] MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. 2016. Guía de Educación Ambiental y Residuos. [En línea] <<https://mma.gob.cl/wp-content/uploads/2018/08/Guia-de-Educacion-Ambiental-y-Residuos.pdf>> [Última consulta: 25 abril 2021]
- [7] WRAP. 2013. Overview of Waste in the UK Hospitality and Food Service Sector. [En línea] <<http://www.wrap.org.uk/content/overview-waste-hospitality-and-food-service-sector>> [Última consulta: 25 abril 2021]
- [8] SUBSECRETARÍA DE DESARROLLO REGIONAL Y ADMINISTRATIVO. 2019. Estudio de Factibilidad Del Funcionamiento de Tecnologías que procesen Residuos Sólidos Domiciliarios, Asimilables y Otros. [En línea] <<http://www.subdere.gov.cl/sites/default/files/documentos/Estudio%20de%20Tecnologi%CC%81as%20para%20Tratamiento%20RSD.pdf>> [Última consulta: 28 abril 2021]
- [9] SUBSECRETARÍA DE DESARROLLO REGIONAL Y ADMINISTRATIVO. 2018. Diagnóstico de la situación por comuna y región en materia de RSD y asimilables. [En línea] <<http://www.subdere.gov.cl/content/1%C3%ADnea-base-diagn%C3%B3stico-y-catastro-de-rsd-a%C3%B1o-2017>> [Última consulta: 25 abril 2021]
- [10] CHILE. Ministerio de Salud. 2005. Decreto N°189: Reglamento sobre Condiciones Sa-

- nitarias y de Seguridad Básicas en los Rellenos Sanitarios. Santiago, Chile. [En línea] <<https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=268137>> [Última consulta: 28 abril 2021]
- [11] MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. 2018. Tercer Informe Bienal de Actualización de Chile sobre Cambio Climático. [En línea] <https://mma.gob.cl/wp-content/uploads/2019/07/2018_NIR_CL.pdf> [Última consulta: 25 abril 2021]
- [12] HERNÁNDEZ, R. 2019. Derechos de aseo: Antecedentes de la legislación chilena y referencias internacionales. [En línea] <https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/27772/1/Derechos_aseo.pdf> [Última consulta: 30 septiembre 2021]
- [13] MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. 2020. Análisis sobre el esquema tarifario establecido en la recolección municipal de residuos. [En línea] <<https://www.scribd.com/document/525472391/20200403-Informe-Final-v3>> [Última consulta: 12 septiembre 2021]
- [14] COVARRUBIAS, A. L. 2004. Tarificación de Residuos Sólidos Domiciliarios. [En línea] <https://archivos.lyd.org/other/files_mf/SIMA-13-Tarificacion-residuos-solidos-domiciliarios-ALCovarrubias-October2004.pdf> [Última consulta: 12 septiembre 2021]
- [15] FUNDACIÓN OBSERVATORIOFISCAL. 2020. ¿Cuáles son las brechas que existen entre los ingresos municipales de cada comuna?. [En línea] <<https://observatoriofiscal.cl/Informe/Repo/BrechasentreMunicipios>> [Última consulta: 30 septiembre 2021]
- [16] MINISTERIO DE DESARROLLO SOCIAL. Metodología de Preparación y Evaluación de Proyectos de Residuos Sólidos Domiciliarios y Asimilables. 2013. [En línea] <<http://sni.ministeriodesarrollosocial.gob.cl/download/residuos-solidos/?wpdmdl=903/?>> [Última consulta: 6 agosto 2021]
- [17] MINISTERIO DE DESARROLLO SOCIAL. Metodología de Formulación y Evaluación Socioeconómica de Proyectos de Valorización de Residuos Municipales. 2013. [En línea] <<http://sni.ministeriodesarrollosocial.gob.cl/download/valorizacion-de-residuos/?wpdmdl=905?>> [Última consulta: 8 agosto 2021]
- [18] ADAPT CHILE. 2016. Antecedentes del manejo y gestión de residuos en Chile. [En línea] <<https://circabc.europa.eu/sd/a/05d21118-7d52-47f9-89bd-1b7c716a1e62/Introduccion%252c%20Antecedentes%20del%20Manejo%20y%20Gesti%25c3%25b3n%20de%20Residuos%20en%20Chile.pdf>> [Última consulta: 6 agosto 2021]
- [19] COMISIÓN NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE. 2005. Política de gestión integral de residuos sólidos. [En línea] <http://www.santiagorecicla.cl/wp-content/uploads/2017/08/articles-26270_pol_rsd.pdf> [Última consulta: 6 agosto 2021]
- [20] SUBSECRETARÍA DE DESARROLLO REGIONAL Y ADMINISTRATIVO. Programa Nacional de Residuos Sólidos (PNRS). [En línea] <<http://www.subdere.gov.cl/programas/divisi%C3%B3n-desarrollo-regional/programa-nacional-de-residuos-s%C3%B3lidos-pnrs>> [Última consulta: 6 agosto 2021]
- [21] NACIONES UNIDAS. Key aspects of the Paris Agreement. [En línea] <<https://unfccc.int/es/process-and-meetings/the-paris-agreement/que-es-el-acuerdo-de-paris>> [Última consulta: 8 agosto 2021]

- [22] GOBIERNO DE CHILE. 2015. Contribución Nacional Tentativa de Chile (INDC) para el Acuerdo Climático París 2015. [En línea] <<https://mma.gob.cl/wp-content/uploads/2016/05/2015-INDC-web.pdf>> [Última consulta: 6 agosto 2021]
- [23] CHILE. Ministerio del Medio Ambiente. 2016. Ley 20.920: Marco para la Gestión de Residuos, la Responsabilidad Extendida del Productor y Fomento al Reciclaje. Santiago, Chile. [En línea] <<https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1090894>> [Última consulta: 14 abril 2021]
- [24] MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. 2017. Política Nacional de Residuos 2018 – 2030 se encuentra en proceso de consulta ciudadana. [En línea] <<https://mma.gob.cl/politica-nacional-de-residuos-2018-2030-se-encuentra-en-proceso-de-consulta-ciudadana/>> [Última consulta: 14 abril 2021]
- [25] RECICLO ORGÁNICOS. Programa. [En línea] <<http://reciclorganicos.com/programa/>> [Última consulta: 18 octubre 2021]
- [26] GOBIERNO DE CHILE. 2019. Contribución Determinada a Nivel Nacional (NDC) de Chile: Primera Actualización. [En línea] <https://mma.gob.cl/wp-content/uploads/2019/10/Propuesta_actualizacion_NDC_Chile_2019.pdf> [Última consulta: 5 agosto 2020]
- [27] MISRA, R., ROY, R. Y HIRAOKA, H. 2003. On-farm composting methods. Food and Agriculture Organization of the United Nations. [En línea] <<http://www.fao.org/3/y5104e/y5104e.pdf>> [Última consulta: 10 abril 2021]
- [28] ENVIRONMENT CANADA. 2013. Technical Document on Municipal Solid Waste Organics Processing. [En línea] <https://publications.gc.ca/collections/collection_2013/ec/En14-83-2013-eng.pdf> [Última consulta: 15 marzo 2021]
- [29] CLARKE, J., CHANE, C. Y WATTS, E. 2016. Exploring In-Vessel Food Waste Processing Units for use in Urban and Regional Settings. [En línea] <<https://docplayer.net/90190870-Exploring-in-vessel-food-waste-processing-units.html>> [Última consulta: 15 marzo 2021]
- [30] AZIM, K., SOUDI, B., BOUKHARI, S., PERISSOL, C., ROUSSOS, S. Y THAMI ALAMI, I. 2018. Composting parameters and compost quality: a literature review. Organic Agriculture. [En línea] <https://www.researchgate.net/publication/316286463_Composting_parameters_and_compost_quality_a_literature_review> [Última consulta: 10 marzo 2021]
- [31] BUENO, P., DÍAZ, M. Y CABRERA, F. 2008. Capítulo 4. Factores que afectan al proceso de Compostaje. [En línea] <<https://digital.csic.es/handle/10261/20837>> [Última consulta: 10 marzo 2021]
- [32] ROMÁN, P., MARTÍNEZ, M. Y PANTOJA, A. 2013. Manual de compostaje del agricultor. Experiencias en América Latina. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. [En línea] <<https://www.fao.org/3/i3388s/I3388S.pdf>> [Última consulta: 28 diciembre 2021]
- [33] UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Types of Composting and Understanding the Process. [En línea] <<https://www.epa.gov/sustainable-management-food/types-composting-and-understanding-process#aeratedturned>> [Última consulta: 10 marzo 2021]

- [34] ALMIÑA, M. Y DEVÉ, G. 2013. Manual de compostaje. [En línea] <<http://www.resol.com.br/cartilhas/manualcompostaje-170110212253.pdf>> [Última consulta: 10 marzo 2021]
- [35] NACIONES UNIDAS. 2012. Operational Manual on Composting for an Integrated Resource Recovery Center (IRRC). [En línea] <https://www.unescap.org/sites/default/files/Operational%20Manual%20Composting%20and%20IRRC_FINAL.pdf> [Última consulta: 10 marzo 2021]
- [36] JARRE, E. 2015. Planta de Compostaje de RSU y Residuos Cítricos Industriales. Tesis de Magister en Ingeniería Ambiental. Sevilla, España. Universidad de Sevilla, Escuela Técnica Superior de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Química y Ambiental. [En línea] <<http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/70677/>> [Última consulta: 15 marzo 2021]
- [37] SILVA, M. Y NAIK, T. 2007. Review of composting and anaerobic digestion of municipal solid waste and a methodological proposal for a mid-size city. Universidad de Wisconsin-Milwaukee. [En línea] <https://www.researchgate.net/publication/242651110_Review_of_composting_and_anaerobic_digestion_of_municipal_solid_waste_and_a_methodological_proposal_for_a_mid-size_city> [Última consulta: 10 marzo 2021]
- [38] CHILE. Instituto Nacional de Normalización. 2003. Compost - clasificación y requisitos. [En línea] <<http://www.ingeachile.cl/descargas/normativa/agricola/NCH2880.pdf>> [Última consulta: 15 marzo 2021]
- [39] SANTORO, F. 2020. Informe calidad compost. [En línea] <<http://www.ingeachile.cl/descargas/normativa/agricola/NCH2880.pdf>> [Última consulta: 15 marzo 2021]
- [40] TIGHE-NEIRA, R., LEONELLI-CANTERGIANI, G., MONTALBA-NAVARRO, R., CAVIERES-ACUÑA, C. Y MORALES-ULLOA, D. 2014. Caracterización de compost a base de espinillo en relación a la norma chilena N°2880. Agronomía Mesoamericana. [En línea] <<https://www.scielo.sa.cr/pdf/am/v25n2/a12v25n2.pdf>> [Última consulta: 15 marzo 2021]
- [41] LIZAMA, M. 2018. Mercado de Materia Orgánica en Chile. Memoria de Ingeniero Comercial. Santiago, Chile. Universidad Técnica Federico Santa María, Departamento de Ingeniería Comercial. [En línea] <<https://www.scielo.sa.cr/pdf/am/v25n2/a12v25n2.pdf>> [Última consulta: 12 marzo 2021]
- [42] MEIXUEIRO, J. Y PÉREZ, M. 2008. Metodología General para la Evaluación de Proyectos. [En línea] <https://www.cepep.gob.mx/work/models/CEPEP/metodologias/documentos/metodologia_general.pdf> [Última consulta: 30 octubre 2021]
- [43] CONTRERAS, E. Y DIEZ, C. 2015. Diseño y Evaluación de Proyectos: Un enfoque integrado. Santiago, Chile. Universidad de Chile. [Última consulta: 2 noviembre 2021]
- [44] CONTRERAS, E. 2001. Evaluación de Inversiones Públicas: enfoques alternativos y su aplicabilidad para Chile. Santiago, Chile. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Departamento de Ingeniería Industrial. [En línea] <<http://www.dii.uchile.cl/~ceges/publicaciones/ceges25.pdf>> [Última consulta: 7 noviembre 2021]

- [45] MINISTERIO DE DESARROLLO SOCIAL Y FAMILIA. Metodología para la Evaluación Social de Soluciones para la Gestión Integral de Residuos Domiciliarios y Asimilables. [En línea] <http://sni.gob.cl/storage/docs/210604_Metodologia_GIRS.pdf> [Última consulta: 7 noviembre 2021]
- [46] LAZURKO, A. 2018. Assessing the Value of Resource Recovery and Reuse. [En línea] <http://www.iwmi.cgiar.org/Publications/wle/rrr/resource_recovery_and_reuse-series_13.pdf> [Última consulta: 25 marzo 2022]
- [47] CHILE. Ministerio de Salud. 2020. Prórroga vigencia de alerta sanitaria declarada y de facultades extraordinarias conferidas mediante Decreto N°12, de 2019, del Ministerio de Salud. [En línea] <<https://media.elmostrador.cl/2020/07/Dto-22-2020-SALUD-3.pdf>> [Última consulta: 26 septiembre 2020]
- [48] EL DESCONCIERTO. 2020. En conflicto con la comunidad, Ancud sigue desechando su basura en la cuenca de un santuario de la naturaleza y sin evaluación ambiental. [En línea] <<https://www.eldesconcierto.cl/bienes-comunes/2020/06/24/en-conflicto-con-la-comunidad-ancud-sigue-desechando-su-basura-en-la-cuenca-de-un-santuario-de-la-naturaleza-y-sin-evaluacion-ambiental.html>> [Última consulta: 26 septiembre 2021]
- [49] SEREMI DE SALUD LOS LAGOS. 2020. Resolución Exenta CP N°7180/2020.
- [50] FIMA. 2021. Ancud: Corte Suprema declara ilegal vertedero Puntra El Roble y acoge recurso de protección interpuesto por comunidades. [En línea] <<https://www.fima.cl/worpress/2021/09/10/ancud-corte-suprema-declara-ilegal-vertedero-puntra-el-roble-y-acoge-recurso-de-proteccion-interpuesto-por-comunidades/>> [Última consulta: 28 septiembre 2021]
- [51] NEIRA, S. 2021. Falta de depósito obliga a Ancud a enviar su basura a Los Ángeles, a 600 km de Chiloé, debido a que ya no cuenta con vertedero. El Mercurio. [En línea] <https://www.litoralpress.cl/paginaconsultas/Servicios_NClip/Get_Imagen_Pagina.aspx?LPKey=23HK5IYJP5MVRJ35XSDJ732SYPYF4XU54RMWE7VB7L2R5IU56ZA> [Última consulta: 28 septiembre 2021]
- [52] ILUSTRE MUNICIPALIDAD DE ANCUD. [En línea] <<https://www.muniancud.cl/portal/#>> [Última consulta: 6 agosto 2021]
- [53] BUS.CHILE. Quillon Horarios de Ferry. [En línea] <<https://www.buschile.com/los-lagos/quillon-horarios-de-ferry.html>> [Última consulta: 6 agosto 2020]
- [54] ILUSTRE MUNICIPALIDAD DE ANCUD. 2011. Actualización Plan de Desarrollo Comunal Ancud 2010-2018. [En línea] <<https://www.muniancud.cl/transparencia/municipalidad/inicio/activa/10%20Mecanismos%20de%20Participaci%C3%B3n%20Ciudadana/10.8%20Pladeco/PLADECO%202010%20-%202018/Resumen%20PLADECO%202010%20-%202018.pdf>> [Última consulta: 6 agosto 2021]
- [55] ILUSTRE MUNICIPALIDAD DE ANCUD. Proyecto de compostaje de la Oficina del Medio Ambiente de Ancud comienza a hacerse realidad. [En línea] <<https://www.muniancud.cl/portal/proyecto-de-compostaje-de-la-oficina-del-medio-ambiente-de-ancud-comienza-a-hacerse-realidad/>> [Última consulta: 19 agosto 2020]
- [56] MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. 2021. Programa Reciclo Orgánicos. [En línea] <<https://chiloereduce.mma.gob.cl/programa-reciclo-organicos/>> [Última consulta: 23 diciembre 2021]

- [57] CHIAPPA, F. 2021. Programa Reciclo Orgánicos visita proyectos en la Región de la Araucanía y Los Lagos. Reciclo Orgánicos. [En línea] <<https://reciclorganicos.com/programa-reciclo-organicos-visita-proyectos-en-la-region-de-la-araucania-y-los-lagos/>> [Última consulta: 23 diciembre 2021]
- [58] IMPLEMENTASUR. 2019. Asesoría sobre el manejo de residuos orgánicos generados a nivel municipal en Chile. Informe 3 Final. [En línea] <<https://reciclorganicos.com/programa-reciclo-organicos-visita-proyectos-en-la-region-de-la-araucania-y-los-lagos/>> [Última consulta: 28 diciembre 2021]
- [59] GORE. The Principle of organic waste treatment with GORE® Cover. [En línea] <<https://www.gore.com/sites/g/files/ypyipe116/files/2016-04/gore-cover-composting-en.pdf>> [Última consulta: 12 enero 2022]
- [60] UNFCCC CLEAN DEVELOPMENT MECHANISM. Tools. [En línea] <<https://cdm.unfccc.int/Reference/tools/index.html>> [Última consulta: 19 noviembre 2021]
- [61] CÁRDENAS, R. Y POBLETE, R. 2019. Asistencia técnica para programa de gestión de residuos sólidos domiciliarios Chiloé. Informe N°3.1.
- [62] SERVICIO DE IMPUESTOS INTERNOS. 2003. Nueva tabla de vida útil de los bienes físicos del activo inmovilizado. [En línea] <https://www.sii.cl/valores_y_fechas/tabla_vida_util_activo_inmovilizado.html> [Última consulta: 27 diciembre 2021]
- [63] SISTEMA NACIONAL DE INVERSIONES. Precios Sociales. [En línea] <<http://sni.gob.cl/precios-sociales>> [Última consulta: 27 diciembre 2021]
- [64] BOSKOVIC, G., JOVICIC, N., JOVANOVIC, S. Y SIMOVIC, V. 2016. Calculating the costs of waste collection: A methodological proposal. Waste management & research. [En línea] <https://www.researchgate.net/publication/305219711_Calculating_the_costs_of_waste_collection_A_methodological_proposal> [Última consulta: 6 enero 2022]
- [65] D'ONZA, G., GRECO, G. Y ALLEGRINI, M. 2016. Full cost accounting in the analysis of separated waste collection efficiency: A methodological proposal. Journal of environmental management. [En línea] <<https://fardapaper.ir/mohavaha/uploads/2019/02/Fardapaper-Full-cost-accounting-in-the-analysis-of-separated-waste-collection-efficiency-A-methodological-proposal.pdf>> [Última consulta: 6 enero 2022]
- [66] JAUNICH, M., LEVIS, J., DECAROLIS, J., GASTON, E., BARLAZ, M., BARTELT-HUNT, S., JONES, E., HAUSER, L. Y JAIKUMAR, R. 2016. Characterization of municipal solid waste collection operations. Resources, Conservation and Recycling. [En línea] <<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2016.07.012>> [Última consulta: 10 enero 2022]
- [67] AGAR, B., BAETZ, B., Y WILSON, B. 2007. Fuel Consumption, Emissions Estimation, and Emissions Cost Estimates Using Global Positioning Data. Journal of the Air and Waste Management Association. [En línea] <<https://doi.org/10.1080/10473289.2007.10465328>> [Última consulta: 10 enero 2022]
- [68] CENTER FOR CLEAN AIR POLICY. 2019. High-Level Pre-feasibility Analysis for a Composting Project in Arequipa. [En línea] <https://www.waste.ccacoalition.org/sites/default/files/files/arequipa_high-level_pre-feasibility_study_final.pdf> [Última consulta: 6 enero 2022]

- [69] PARCHOMENKO, A., NELEN, D., GILLABEL, J., Y RECHBERGER, H. 2019. Measuring the circular economy-A Multiple Correspondence Analysis of 63 metrics. *Journal of cleaner production*. [En línea] <<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.10.357>> [Última consulta: 27 enero 2022]
- [70] KARMPERIS, A., ARAVOSSIS, K., TATSIPOULOS, I., Y SOTIRCHOS, A. 2013. Decision support models for solid waste management: Review and game-theoretic approaches. *Waste management*. [En línea] <<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2013.01.017>>. [Última consulta: 16 enero 2022]
- [71] UNEP. Life Cycle Sustainability Assessment. [En línea] <<https://www.lifecycleinitiative.org/starting-life-cycle-thinking/life-cycle-approaches/life-cycle-sustainability-assessment/>>. [Última consulta: 28 marzo 2022]
- [72] BALANAY, R. Y HALOG, A. 2019. Tools for circular economy: Review and some potential applications for the Philippine textile industry. *Circular Economy in Textiles and Apparel*. [En línea] <<https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102630-4.00003-0>>. [Última consulta: 28 marzo 2022]
- [73] ZURBRÜGG, C., CANIATO, M. Y VACCARI, M. 2014. How assessment methods can support solid waste management in developing countries — a critical review. *Sustainability*. [En línea] <<https://www.mdpi.com/2071-1050/6/2/545>>. [Última consulta: 28 marzo 2022]
- [74] REN, J., MANZARDO, A., MAZZI, A., ZULIANI, F., Y SCIPIONI, A. 2015. Prioritization of bioethanol production pathways in China based on life cycle sustainability assessment and multicriteria decision-making. *The International Journal of Life Cycle Assessment*. [En línea] <<https://doi.org/10.1007/s11367-015-0877-8>>. [Última consulta: 28 marzo 2022]
- [75] POPOVIC, T. Y KRASLAWSKI, A. 2015. Social sustainability of complex systems. *Computer Aided Chemical Engineering*. [En línea] <<https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63472-6.00024-0>>. [Última consulta: 29 marzo 2022]
- [76] STAMFORD, L. 2020. Life cycle sustainability assessment in the energy sector. *Biofuels for a More Sustainable Future*. [En línea] <<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815581-3.00005-1>>. [Última consulta: 30 marzo 2022]
- [77] COMISIÓN EUROPEA. TOOL #57. Analytical methods to compare options or assess performance. [En línea] <https://ec.europa.eu/info/sites/default/files/file_import/better-regulation-toolbox-57_en_0.pdf>. [Última consulta: 30 marzo 2022]
- [78] HURTADO, T. Y BRUNO, G. 2005. El proceso de análisis jerárquico (AHP) como herramienta para la toma de decisiones en la selección de proveedores. Monografía de Licenciado en Investigación Operativa. Lima, Perú. Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ciencias Matemáticas. [En línea] <https://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/Tesis/Basic/toskano_hg/toskano_hg.pdf>. [Última consulta: 30 marzo 2022]
- [79] PETRILLO, A., DE FELICE, F., JANNELLI, E., AUTORINO, C., MINUTILLO, M. Y LAVADERA, A. 2016. Life cycle assessment (LCA) and life cycle cost (LCC) analysis model for a stand-alone hybrid renewable energy system. *Renewable energy*. [En línea] <<https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.04.027>>. [Última consulta: 29 marzo 2022]

Anexos

Anexo A. Caso de Estudio

A.1. Datos poblacionales de la comuna de Ancud

En la Tabla A.1 se presenta la estimación y proyección de la población de la comuna de Ancud realizada por el INE, basada en el Censo del 2017.

Tabla A.1: Estimación y proyección de la población de la comuna de Ancud. Fuente: INE.

Año	Población	Año	Población
2002	41.332	2019	42.379
2003	41.355	2020	42.458
2004	41.381	2021	42.494
2005	41.408	2022	42.507
2006	41.458	2023	42.516
2007	41.507	2024	42.524
2008	41.606	2025	42.531
2009	41.728	2026	42.538
2010	41.829	2027	42.545
2011	41.932	2028	42.551
2012	42.012	2029	42.554
2013	42.050	2030	42.556
2014	42.087	2031	42.558
2015	42.128	2032	42.558
2016	42.179	2033	42.556
2017	42.231	2034	42.549
2018	42.301	2035	42.538

A.2. Masa de residuos orgánicos producidos

En la Tabla A.2 se presenta la población urbana de Ancud, la tasa de generación de residuos per cápita y la masa de residuos orgánicos vegetales que son producidos por dicha población. Para su elaboración se consideró lo siguiente:

- La fracción urbana de la población de la comuna es de 72,5 %, de acuerdo a lo presentado en la Sección 3.2.
- La fracción orgánica corresponde al 55 % de los residuos orgánicos, de acuerdo a lo presentado en la Sección 3.2.
- La fracción compostable dentro de la fracción orgánica es de un 80 %.

Tabla A.2: Masa de residuos orgánicos producidos en la zona urbana de Ancud. Fuente: Elaboración propia

Año		Población urbana Ancud (hab)	Tasa de generación de residuos (ton/hab/año)	Masa de residuos orgánicos vegetales producidos (ton/año)
0	2021	30.808	0,37	5.062
1	2022	30.818	0,38	5.155
2	2023	30.824	0,39	5.242
3	2024	30.830	0,39	5.326
4	2025	30.835	0,40	5.407
5	2026	30.840	0,40	5.485
6	2027	30.845	0,41	5.560
7	2028	30.849	0,41	5.633
8	2029	30.852	0,42	5.703
9	2030	30.853	0,43	5.771
10	2031	30.855	0,43	5.838
11	2032	30.855	0,43	5.904
12	2033	30.853	0,44	5.968
13	2034	30.848	0,44	6.030
14	2035	30.840	0,45	6.092
15	2036	30.840	0,45	6.161
16	2037	30.840	0,46	6.229
17	2038	30.840	0,46	6.296
18	2039	30.840	0,47	6.363
19	2040	30.840	0,47	6.429
20	2041	30.840	0,47	6.439

Anexo B. Evaluación Ambiental

B.1. Emisiones de GEI en la situación sin proyecto

En la Tabla B.1 se pueden ver las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) producidas en la situación sin proyecto.

Tabla B.1: Emisiones de GEI producidas en la situación sin proyecto.

Año		GEI producidos por RSO vegetales en un relleno sanitario (tCO ₂ eq/año)	GEI producidos por RSO del arbolado urbano en un relleno sanitario (tCO ₂ eq/año)	Total emisiones GEI en la situación sin proyecto (tCO ₂ eq/año)
0	2021	0	0	0
1	2022	27	20	47
2	2023	112	86	198
3	2024	282	219	502
4	2025	601	474	1.075
5	2026	872	708	1.580
6	2027	1.102	924	2.026
7	2028	1.308	1.131	2.439
8	2029	1.520	1.349	2.869
9	2030	1.738	1.577	3.316
10	2031	1.999	1.844	3.843
11	2032	2.222	2.090	4.312
12	2033	2.414	2.317	4.730
13	2034	2.609	2.549	5.157
14	2035	2.871	2.834	5.705
15	2036	3.191	3.169	6.360
16	2037	3.610	3.587	7.197
17	2038	3.968	3.973	7.941
18	2039	4.276	4.330	8.606
19	2040	4.542	4.660	9.203
20	2041	4.765	4.961	9.726

B.2. Emisiones de GEI en la situación con proyecto

En la Tabla B.2 se muestran las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) producidas en la situación con proyecto.

Tabla B.2: Emisiones de GEI producidas en la situación con proyecto.

Año	GEI producidos por RSO vegetales en la planta de compostaje (tCO ₂ eq/año)	GEI producidos por RSO del arbolado urbano en la planta de compostaje (tCO ₂ eq/año)	GEI producidos por el funcionamiento de la planta de compostaje (tCO ₂ eq/año)	Total emisiones GEI en la situación con proyecto (tCO ₂ eq/año)
0	2021	0	0	0
1	2022	16	16	87
2	2023	54	54	164
3	2024	114	114	283
4	2025	221	221	497
5	2026	224	224	504
6	2027	227	227	510
7	2028	236	236	569
8	2029	261	261	619
9	2030	286	286	669
10	2031	334	334	765
11	2032	338	338	772
12	2033	342	342	780
13	2034	363	363	878
14	2035	423	423	998
15	2036	485	485	1.122
16	2037	577	577	1.306
17	2038	583	583	1.318
18	2039	589	589	1.331
19	2040	596	596	1.343
20	2041	597	597	1.345

B.3. Reducción de emisiones de GEI

En la Tabla B.3 se presenta la reducción en las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) producto de la implementación del proyecto.

Tabla B.3: Emisiones de GEI reducidas por la implementación del proyecto.

Año		GEI producidos por la situación sin proyecto (tCO ₂ eq/año)	GEI producidos por la situación con proyecto (tCO ₂ eq/año)	Reducción de emisiones de GEI (tCO ₂ eq/año)
0	2021	0	0	0
1	2022	47	87	41
2	2023	198	164	-34
3	2024	502	283	-219
4	2025	1.075	497	-578
5	2026	1.580	504	-1.077
6	2027	2.026	510	-1.516
7	2028	2.439	569	-1.870
8	2029	2.869	619	-2.250
9	2030	3.316	669	-2.647
10	2031	3.843	765	-3.078
11	2032	4.312	772	-3.539
12	2033	4.730	780	-3.950
13	2034	5.157	878	-4.279
14	2035	5.705	998	-4.706
15	2036	6.360	1.122	-5.238
16	2037	7.197	1.306	-5.891
17	2038	7.941	1.318	-6.623
18	2039	8.606	1.331	-7.275
19	2040	9.203	1.343	-7.860
20	2041	9.726	1.345	-8.381

Anexo C. Evaluación Privada

C.1. Inversión

En las Tablas C.1, C.2, C.3 y C.4 se muestran los costos de inversión para cada una de las etapas del proyecto.

Tabla C.1: Detalle de la inversión del proyecto para el año 0.

Inversión Año 0	Unidad	Cantidad	Precio mercado (CLP)	Total (CLP)
Terreno				\$ 13.612.877
Terreno	m2	6.806,4	\$ 2.000	\$ 13.612.877
Maquinaria y equipos				\$ 588.082.838
Cargador frontal	un	1	\$ 128.602.348	\$ 128.602.348
Garra forestal	un	1	\$ 11.900.000	\$ 11.900.000
Chipeadora	un	1	\$ 150.981.250	\$ 150.981.250
Harnero	un	1	\$ 19.331.550	\$ 19.331.550
Báscula	un	1	\$ 39.767.690	\$ 39.767.690
Sistema de aireación forzada	CLP/ton	4.200	\$ 42.411	\$ 237.500.000
Membranas semipermeables	CLP/ton	4.200	\$ 14.137	\$ 59.375.000
Obras civiles y equipamiento				\$ 596.493.998
Galpón compostaje	m2	1.130	\$ 137.752	\$ 155.695.636
Losa hormigón	m2	2.522	\$ 102.638	\$ 258.853.181
Pavimentos exteriores	-	-	\$ 45.343.760	\$ 45.343.760
Estanque lixiviados	un	2	\$ 12.739.862	\$ 25.479.724
Oficina e instalaciones sanitarias	m2	30	\$ 746.198	\$ 22.385.923
Sistema de agua y alcantarillado	-	-	\$ 11.501.529	\$ 11.501.529
Instalación eléctrica	-	-	\$ 17.365.113	\$ 17.365.113
Cerco perimetral	m	286	\$ 40.078	\$ 11.474.389
Caseta de vigilancia	un	1	\$ 1.190.000	\$ 1.190.000
Portón de acceso	un	1	\$ 856.800	\$ 856.800
Camino de acceso	-	-	\$ 22.989.163	\$ 22.989.163
Bomba extracción lixiviados	un	1	\$ 800.000	\$ 800.000
Herramientas de trabajo de compost	-	-	\$ 201.110	\$ 201.110
Contenedores rechazo	un	3	\$ 319.319	\$ 1.139.970
Equipamiento de oficina	un	1	\$ 833.000	\$ 833.000
Otros (actividades preliminares, transporte)	-	-	\$ 20.384.700	\$ 20.384.700
Kits domiciliarios				\$ 144.167.432
Contenedor 10 L	un	6.705	\$ 7.200	\$ 48.279.326
Contenedor 40 L	un	6.705	\$ 14.300	\$ 95.888.106
Otros				\$ 79.612.857
Ingeniería y diseño	-	-	\$ 11.900.000	\$ 11.900.000
Costos imprevistos	-	-	\$ 67.712.857	\$ 67.712.857
Total				\$ 1.421.970.002

Tabla C.2: Detalle de la inversión del proyecto para el año 6.

Inversión Año 6	Unidad	Cantidad	Precio mercado (CLP)	Total (CLP)
Maquinaria y equipos				\$ 183.779.762
Sistema de aireación forzada	CLP/ton	2.200	\$ 42.411	\$ 93.303.571
Membranas semipermeables	CLP/ton	6.400	\$ 14.137	\$ 90.476.190
Obras civiles y equipamiento				\$ 402.746.938
Galpón compostaje	m2	592	\$ 137.752	\$ 81.554.857
Losa hormigón	m2	2.762	\$ 102.638	\$ 283.505.865
Estanque lixiviados	un	1	\$ 15.160.436	\$ 15.160.436
Bomba extracción lixiviados	un	1	\$ 800.000	\$ 800.000
Herramientas de trabajo de compost	-	-	\$ 201.110	\$ 201.110
Contenedores rechazo	un	3	\$ 319.319	\$ 1.139.970
Otros (actividades preliminares, transporte)	-	-	\$ 20.384.700	\$ 20.384.700
Kits domiciliarios				\$ 57.719.157
Contenedor 10 L	un	2.685	\$ 7.200	\$ 19.329.206
Contenedor 40 L	un	2.685	\$ 14.300	\$ 38.389.951
Otros				\$ 44.707.293
Ingeniería y diseño	-	-	\$ 11.900.000	\$ 11.900.000
Costos imprevistos	-	-	\$ 32.807.293	\$ 32.807.293
Total				\$ 688.953.150

Tabla C.3: Detalle de la inversión del proyecto para el año 12.

Inversión Año 12	Unidad	Cantidad	Precio mercado (CLP)	Total (CLP)
Maquinaria y equipos				\$ 350.595.238
Sistema de aireación forzada	CLP/ton	4.600	\$ 42.411	\$ 195.089.286
Membranas semipermeables	CLP/ton	11.000	\$ 14.137	\$ 155.505.952
Obras civiles y equipamiento				\$ 506.876.309
Galpón compostaje	m2	1.238	\$ 137.752	\$ 170.523.792
Losa hormigón	m2	2.762	\$ 102.638	\$ 283.505.865
Estanque lixiviados	un	2	\$ 15.160.436	\$ 30.320.872
Bomba extracción lixiviados	un	1	\$ 800.000	\$ 800.000
Herramientas de trabajo de compost	-	-	\$ 201.110	\$ 201.110
Contenedores rechazo	un	3	\$ 319.319	\$ 1.139.970
Otros (actividades preliminares, transporte)	-	-	\$ 20.384.700	\$ 20.384.700
Kits domiciliarios				\$ 43.157.721
Contenedor 10 L	un	2.007	\$ 7.200	\$ 14.452.818
Contenedor 40 L	un	2.007	\$ 14.300	\$ 28.704.903
Otros				\$ 57.526.463
Ingeniería y diseño	-	-	\$ 11.900.000	\$ 11.900.000
Costos imprevistos	-	-	\$ 45.626.463	\$ 45.626.463
Total				\$ 958.155.731

Tabla C.4: Detalle de la inversión del proyecto para el año 18.

Inversión Año 18	Unidad	Cantidad	Precio mercado (CLP)	Total (CLP)
Maquinaria y equipos				\$ 155.505.952
Membranas semipermeables	CLP/ton	11.000	\$ 14.137	\$ 155.505.952
Total				\$ 155.505.952

C.2. Costos

A continuación, en las Tablas C.5, C.6, C.7 y C.8, se presentan los costos totales del proyecto, que consisten en los costos de operación y mantenimiento del proyecto.

Tabla C.5: Detalle de los costos del proyecto entre los años 1 y 6.

	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6
(1) Costos de operación (1.1)+(1.2)	\$ 102.826.682	\$ 98.748.938	\$ 108.166.815	\$ 124.659.141	\$ 124.809.851	\$ 124.955.490
(1.1) Costos variables	\$ 748.282	\$ 2.570.538	\$ 5.388.415	\$ 10.465.741	\$ 10.616.451	\$ 10.762.090
(a) Planta de compostaje						
Electricidad maquinaria	\$ 66.339	\$ 227.890	\$ 477.708	\$ 927.837	\$ 941.198	\$ 954.110
Combustible maquinaria	\$ 681.944	\$ 2.342.648	\$ 4.910.707	\$ 9.537.904	\$ 9.675.253	\$ 9.807.980
(1.2) Costos fijos	\$ 102.078.400	\$ 96.178.400	\$ 102.778.400	\$ 114.193.400	\$ 114.193.400	\$ 114.193.400
(a) Planta de compostaje						
Sueldos operación planta	\$ 23.415.000	\$ 23.415.000	\$ 23.415.000	\$ 34.830.000	\$ 34.830.000	\$ 34.830.000
(b) Recolección diferenciada						
Sueldos recolección diferenciada	\$ 23.640.000	\$ 23.640.000	\$ 23.640.000	\$ 23.640.000	\$ 23.640.000	\$ 23.640.000
Transporte a planta compostaje	\$ 15.023.400	\$ 15.023.400	\$ 15.023.400	\$ 15.023.400	\$ 15.023.400	\$ 15.023.400
(c) Capacitación y educación ambiental						
Capacitación y educación constante	\$ 40.000.000	\$ 34.100.000	\$ 40.700.000	\$ 40.700.000	\$ 40.700.000	\$ 40.700.000
(2) Costos de mantenimiento	\$ 664.207	\$ 2.281.719	\$ 4.782.986	\$ 9.289.835	\$ 9.423.612	\$ 9.552.887
(a) Planta de compostaje						
Costos de mantenimiento	\$ 664.207	\$ 2.281.719	\$ 4.782.986	\$ 9.289.835	\$ 9.423.612	\$ 9.552.887
(3) Total costos (1)+(2) (CLP)	\$ 103.490.889	\$ 101.030.657	\$ 112.949.801	\$ 133.948.977	\$ 134.233.463	\$ 134.508.377

Tabla C.6: Detalle de los costos del proyecto entre los años 7 y 12.

	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10	Año 11	Año 12
(1) Costos de operación (1.1)+(1.2)	\$ 125.387.047	\$ 165.220.389	\$ 166.411.181	\$ 180.092.645	\$ 180.269.594	\$ 180.443.260
(1.1) Costos variables	\$ 11.193.647	\$ 12.363.589	\$ 13.554.381	\$ 15.820.845	\$ 15.997.794	\$ 16.171.460
(a) Planta de compostaje						
Electricidad maquinaria	\$ 992.369	\$ 1.096.090	\$ 1.201.659	\$ 1.402.592	\$ 1.418.279	\$ 1.433.676
Combustible maquinaria	\$ 10.201.277	\$ 11.267.499	\$ 12.352.722	\$ 14.418.253	\$ 14.579.515	\$ 14.737.784
(1.2) Costos fijos	\$114.193.400	\$152.856.800	\$152.856.800	\$164.271.800	\$164.271.800	\$164.271.800
(a) Planta de compostaje						
Sueldos operación planta	\$ 34.830.000	\$ 34.830.000	\$ 34.830.000	\$ 46.245.000	\$ 46.245.000	\$ 46.245.000
(b) Recolección diferenciada						
Sueldos recolección diferenciada	\$ 23.640.000	\$ 47.280.000	\$ 47.280.000	\$ 47.280.000	\$ 47.280.000	\$ 47.280.000
Transporte a planta compostaje	\$ 15.023.400	\$ 30.046.800	\$ 30.046.800	\$ 30.046.800	\$ 30.046.800	\$ 30.046.800
(c) Capacitación y educación ambiental						
Capacitación y educación constante	\$ 40.700.000	\$ 40.700.000	\$ 40.700.000	\$ 40.700.000	\$ 40.700.000	\$ 40.700.000
(2) Costos de mantenimiento	\$ 9.935.955	\$ 10.974.445	\$ 12.031.443	\$ 14.043.252	\$ 14.200.320	\$ 14.354.473
(a) Planta de compostaje						
Costos de mantenimiento	\$ 9.935.955	\$ 10.974.445	\$ 12.031.443	\$ 14.043.252	\$ 14.200.320	\$ 14.354.473
(3) Total costos (1)+(2) (CLP)	\$135.323.001	\$176.194.834	\$178.442.623	\$194.135.897	\$194.469.914	\$194.797.733

Tabla C.7: Detalle de los costos del proyecto entre los años 13 y 18.

	Año 13	Año 14	Año 15	Año 16	Año 17	Año 18
(1) Costos de operación (1.1)+(1.2)	\$181.468.784	\$184.316.525	\$225.909.578	\$241.677.546	\$241.972.904	\$242.265.167
(1.1) Costos variables	\$ 17.196.984	\$ 20.044.725	\$ 22.974.378	\$ 27.327.346	\$ 27.622.704	\$ 27.914.967
(a) Planta de compostaje						
Electricidad maquinaria	\$ 1.524.593	\$ 1.777.059	\$ 2.036.786	\$ 2.422.697	\$ 2.448.882	\$ 2.474.792
Combustible maquinaria	\$ 15.672.391	\$ 18.267.666	\$ 20.937.592	\$ 24.904.649	\$ 25.173.822	\$ 25.440.175
(1.2) Costos fijos	\$164.271.800	\$164.271.800	\$202.935.200	\$214.350.200	\$214.350.200	\$214.350.200
(a) Planta de compostaje						
Sueldos operación planta	\$ 46.245.000	\$ 46.245.000	\$ 46.245.000	\$ 57.660.000	\$ 57.660.000	\$ 57.660.000
(b) Recolección diferenciada						
Sueldos recolección diferenciada	\$ 47.280.000	\$ 47.280.000	\$ 70.920.000	\$ 70.920.000	\$ 70.920.000	\$ 70.920.000
Transporte a planta compostaje	\$ 30.046.800	\$ 30.046.800	\$ 45.070.200	\$ 45.070.200	\$ 45.070.200	\$ 45.070.200
(c) Capacitación y educación ambiental						
Capacitación y educación constante	\$ 40.700.000	\$ 40.700.000	\$ 40.700.000	\$ 40.700.000	\$ 40.700.000	\$ 40.700.000
(2) Costos de mantenimiento	\$ 15.264.772	\$ 17.792.547	\$ 20.393.031	\$ 24.256.910	\$ 24.519.082	\$ 24.778.507
(a) Planta de compostaje						
Costos de mantenimiento	\$ 15.264.772	\$ 17.792.547	\$ 20.393.031	\$ 24.256.910	\$ 24.519.082	\$ 24.778.507
(3) Total costos (1)+(2) (CLP)	\$196.733.556	\$202.109.072	\$246.302.608	\$265.934.457	\$266.491.986	\$267.043.674

Tabla C.8: Detalle de los costos del proyecto entre los años 19 y 20.

	Año 19	Año 20
(1) Costos de operación (1.1)+(1.2)	\$242.554.396	\$242.554.396
(1.1) Costos variables	\$ 28.204.196	\$ 28.204.196
(a) Planta de compostaje		
Electricidad maquinaria	\$ 2.500.434	\$ 2.500.434
Combustible maquinaria	\$ 25.703.762	\$ 25.703.762
(1.2) Costos fijos	\$214.350.200	\$214.350.200
(a) Planta de compostaje		
Sueldos operación planta	\$ 57.660.000	\$ 57.660.000
(b) Recolección diferenciada		
Sueldos recolección diferenciada	\$ 70.920.000	\$ 70.920.000
Transporte a planta compostaje	\$ 45.070.200	\$ 45.070.200
(c) Capacitación y educación ambiental		
Capacitación y educación constante	\$ 40.700.000	\$ 40.700.000
(2) Costos de mantenimiento	\$ 25.035.239	\$ 25.035.239
(a) Planta de compostaje		
Costos de mantenimiento	\$ 25.035.239	\$ 25.035.239
(3) Total costos (1)+(2) (CLP)	\$267.589.635	\$267.589.635

C.3. Ingresos

En las siguientes Tablas (C.9, C.10, C.11 y C.12), se muestran los ingresos del proyecto generados por la venta de compost producido.

Tabla C.9: Ingresos por venta de compost entre los años 1 y 6.

	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6
Precio mercado compost (CLP/ton)	\$ 80.417	\$ 80.417	\$ 80.417	\$ 80.417	\$ 80.417	\$ 80.417
Compost producido (ton/año)	101	349	731	1.419	1.440	1.460
Ingreso total (CLP)	\$ 8.160.709	\$ 28.034.097	\$ 58.765.648	\$ 114.138.581	\$ 115.782.211	\$ 117.370.539

Tabla C.10: Ingresos por venta de compost entre los años 7 y 12.

	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10	Año 11	Año 12
Precio mercado compost (CLP/ton)	\$ 80.417	\$ 80.417	\$ 80.417	\$ 80.417	\$ 80.417	\$ 80.417
Compost producido (ton/año)	1.518	1.677	1.838	2.146	2.170	2.193
Ingreso total (CLP)	\$ 122.077.061	\$ 134.836.363	\$ 147.823.050	\$ 172.540.934	\$ 174.470.730	\$ 176.364.719

Tabla C.11: Ingresos por venta de compost entre los años 13 y 18.

	Año 13	Año 14	Año 15	Año 16	Año 17	Año 18
Precio mercado compost (CLP/ton)	\$ 80.417	\$ 80.417	\$ 80.417	\$ 80.417	\$ 80.417	\$ 80.417
Compost producido (ton/año)	2.332	2.718	3.116	3.706	3.746	3.786
Ingreso total (CLP)	\$ 187.549.010	\$ 218.606.250	\$ 250.556.822	\$ 298.029.969	\$ 301.251.118	\$ 304.438.516

Tabla C.12: Ingresos por venta de compost entre los años 19 y 20.

	Año 19	Año 20
Precio mercado compost (CLP/ton)	\$ 80.417	\$ 80.417
Compost producido (ton/año)	3.825	3.825
Ingreso total (CLP)	\$ 307.592.823	\$ 307.592.823

C.4. Depreciación

En la Tablas C.13, C.14, C.15 y C.16 se muestra la depreciación para cada una de las etapas del proyecto, a partir de la tabla de vida útil del Servicio de Impuestos Internos (SII).

Tabla C.13: Depreciación para la inversión 1 del proyecto

Inversión Año 0	Vida útil (SII)	Valor total (CLP)	Depreciación anual (CLP/año)
Obras civiles	50	\$ 593.519.929	\$ 11.870.399
Maquinaria y equipos	15	\$ 528.707.838	\$ 35.247.189
Equipamiento	10	\$ 2.974.080	\$ 297.408
Membranas semipermeables	6	\$ 59.375.000	\$ 9.895.833

Tabla C.14: Depreciación para la inversión 2 del proyecto

Inversión Año 6	Vida útil (SII)	Valor total (CLP)	Depreciación anual (CLP/año)
Obras civiles	50	\$ 400.605.858	\$ 8.012.117
Maquinaria y equipos	15	\$ 93.303.571	\$ 6.220.238
Equipamiento	10	\$ 2.141.080	\$ 214.108
Membranas semipermeables	6	\$ 90.476.190	\$ 15.079.365

Tabla C.15: Depreciación para la inversión 3 del proyecto

Inversión Año 12	Vida útil (SII)	Valor total (CLP)	Depreciación anual (CLP/año)
Obras civiles	50	\$ 504.735.228	\$ 10.094.705
Maquinaria y equipos	15	\$ 195.089.286	\$ 13.005.952
Equipamiento	10	\$ 2.141.080	\$ 214.108
Membranas semipermeables	6	\$ 155.505.952	\$ 25.917.659

Tabla C.16: Depreciación para la inversión 4 del proyecto

Inversión Año 18	Vida útil (SII)	Valor total (CLP)	Depreciación anual (CLP/año)
Membranas semipermeables	6	\$ 155.505.952	\$ 25.917.659

C.5. Flujo de caja escenario 1

El flujo de caja para el escenario 1 del proyecto se muestra en las Tablas C.17, C.18 y C.19.

Tabla C.17: Flujo de caja privado entre los años 0 y 6 del proyecto, escenario 1.

	0	1	2	3	4	5	6
Ingresos	\$ -	\$ 8.160.709	\$ 28.034.097	\$ 58.765.648	\$ 114.138.581	\$ 115.782.211	\$ 117.370.539
Costos	\$ -	\$ -103.490.889	\$ -101.030.657	\$ -112.949.801	\$ -133.948.977	\$ -134.233.463	\$ -134.508.377
Depreciación	\$ -	\$ -57.310.829	\$ -57.310.829	\$ -57.310.829	\$ -57.310.829	\$ -57.310.829	\$ -57.310.829
Pérdidas del ejercicio anterior	\$ -	\$ -	\$ -152.641.009	\$ -282.948.398	\$ -394.443.381	\$ -471.564.605	\$ -547.326.686
Utilidad antes de impuesto	\$ -	\$ -152.641.009	\$ -282.948.398	\$ -394.443.381	\$ -471.564.605	\$ -547.326.686	\$ -621.775.353
Impuesto a la renta (27%)	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Utilidad después de impuesto	\$ -	\$ -152.641.009	\$ -282.948.398	\$ -394.443.381	\$ -471.564.605	\$ -547.326.686	\$ -621.775.353
Depreciación	\$ -	\$ 57.310.829	\$ 57.310.829	\$ 57.310.829	\$ 57.310.829	\$ 57.310.829	\$ 57.310.829
Pérdidas del ejercicio anterior	\$ -	\$ -	\$ 152.641.009	\$ 282.948.398	\$ 394.443.381	\$ 471.564.605	\$ 547.326.686
Inversión	\$ -1.421.970.014	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -688.953.150
Capital de trabajo	\$ -95.330.180	\$ -72.996.560	\$ -54.184.153	\$ -19.810.395	\$ -18.451.252	\$ -17.137.838	\$ -13.245.940
Valor residual	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Flujo de caja neto	\$ -1.517.300.194	\$ -168.326.740	\$ -127.180.713	\$ -73.994.548	\$ -38.261.647	\$ -35.589.089	\$ -719.336.928

Tabla C.18: Flujo de caja privado entre los años 7 y 13 del proyecto, escenario 1.

	7	8	9	10	11	12	13
Ingresos	\$ 122.077.061	\$ 134.836.363	\$ 147.823.050	\$ 172.540.934	\$ 174.470.730	\$ 176.364.719	\$ 187.549.010
Costos	\$ -135.323.001	\$ -176.194.834	\$ -178.442.623	\$ -194.135.897	\$ -194.469.914	\$ -194.797.733	\$ -196.733.556
Depreciación	\$ -76.940.824	\$ -76.940.824	\$ -76.940.824	\$ -76.940.824	\$ -76.643.416	\$ -76.643.416	\$ -118.874.880
Pérdidas del ejercicio anterior	\$ -621.775.353	\$ -711.962.117	\$ -830.261.413	\$ -937.821.810	\$ -1.036.357.597	\$ -1.133.000.196	\$ -1.228.076.627
Utilidad antes de impuesto	\$ -711.962.117	\$ -830.261.413	\$ -937.821.810	\$ -1.036.357.597	\$ -1.133.000.196	\$ -1.228.076.627	\$ -1.356.136.054
Impuesto a la renta (27%)	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Utilidad después de impuesto	\$ -711.962.117	\$ -830.261.413	\$ -937.821.810	\$ -1.036.357.597	\$ -1.133.000.196	\$ -1.228.076.627	\$ -1.356.136.054
Depreciación	\$ 76.940.824	\$ 76.940.824	\$ 76.940.824	\$ 76.940.824	\$ 76.643.416	\$ 76.643.416	\$ 118.874.880
Pérdidas del ejercicio anterior	\$ 621.775.353	\$ 711.962.117	\$ 830.261.413	\$ 937.821.810	\$ 1.036.357.597	\$ 1.133.000.196	\$ 1.228.076.627
Inversión	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -958.155.731	\$ -
Capital de trabajo	\$ -41.358.471	\$ -30.619.573	\$ -21.594.963	\$ -19.999.183	\$ -18.433.014	\$ -9.184.547	\$ -
Valor residual	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Flujo de caja neto	\$ -54.604.412	\$ -71.978.044	\$ -52.214.536	\$ -41.594.146	\$ -38.432.198	\$ -985.773.292	\$ -9.184.547

Tabla C.19: Flujo de caja privado entre los años 14 y 20 del proyecto, escenario 1.

	14	15	16	17	18	19	20
Ingresos	\$ 218.606.250	\$ 250.556.822	\$ 298.029.969	\$ 301.251.118	\$ 304.438.516	\$ 307.592.823	\$ 307.592.823
Costos	\$ -202.109.072	\$ -246.302.608	\$ -265.934.457	\$ -266.491.986	\$ -267.043.674	\$ -267.589.635	\$ -267.589.635
Depreciación	\$ -118.874.880	\$ -118.874.880	\$ -83.627.691	\$ -83.413.583	\$ -73.517.750	\$ -99.435.408	\$ -99.435.408
Pérdidas del ejercicio anterior	\$ -1.356.136.054	\$ -1.458.513.755	\$ -1.573.134.422	\$ -1.624.666.600	\$ -1.673.321.052	\$ -1.709.443.960	\$ -1.768.876.180
Utilidad antes de impuesto	\$ -1.458.513.755	\$ -1.573.134.422	\$ -1.624.666.600	\$ -1.673.321.052	\$ -1.709.443.960	\$ -1.768.876.180	\$ -1.828.308.401
Impuesto a la renta (27%)	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Utilidad después de impuesto	\$ -1.458.513.755	\$ -1.573.134.422	\$ -1.624.666.600	\$ -1.673.321.052	\$ -1.709.443.960	\$ -1.768.876.180	\$ -1.828.308.401
Depreciación	\$ 118.874.880	\$ 118.874.880	\$ 83.627.691	\$ 83.413.583	\$ 73.517.750	\$ 99.435.408	\$ 99.435.408
Pérdidas del ejercicio anterior	\$ 1.356.136.054	\$ 1.458.513.755	\$ 1.573.134.422	\$ 1.624.666.600	\$ 1.673.321.052	\$ 1.709.443.960	\$ 1.768.876.180
Inversión	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -155.505.952	\$ -	\$ -
Capital de trabajo	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 432.346.070
Valor residual	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 1.196.724.338
Flujo de caja neto	\$ 16.497.178	\$ 4.254.213	\$ 32.095.513	\$ 34.759.132	\$ -118.111.111	\$ 40.003.188	\$ 1.669.073.596

C.6. Flujo de caja escenario 2

El flujo de caja para el escenario 1 del proyecto se muestra en las Tablas C.20, C.21 y C.22.

Tabla C.20: Flujo de caja privado entre los años 0 y 6 del proyecto, escenario 2.

	0	1	2	3	4	5	6
Ingresos	\$ -	\$ 8.160.709	\$ 28.034.097	\$ 58.765.648	\$ 114.138.581	\$ 115.782.211	\$ 117.370.539
Costos	\$ -	\$ -103.490.889	\$ -101.030.657	\$ -112.949.801	\$ -133.948.977	\$ -134.233.463	\$ -134.508.377
Depreciación	\$ -	\$ -57.310.829	\$ -57.310.829	\$ -57.310.829	\$ -57.310.829	\$ -57.310.829	\$ -57.310.829
Pérdidas del ejercicio anterior	\$ -	\$ -	\$ -152.641.009	\$ -282.948.398	\$ -394.443.381	\$ -471.564.605	\$ -547.326.686
Utilidad antes de impuesto	\$ -	\$ -152.641.009	\$ -282.948.398	\$ -394.443.381	\$ -471.564.605	\$ -547.326.686	\$ -621.775.353
Impuesto a la renta (27%)	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Utilidad después de impuesto	\$ -	\$ -152.641.009	\$ -282.948.398	\$ -394.443.381	\$ -471.564.605	\$ -547.326.686	\$ -621.775.353
Depreciación	\$ -	\$ 57.310.829	\$ 57.310.829	\$ 57.310.829	\$ 57.310.829	\$ 57.310.829	\$ 57.310.829
Pérdidas del ejercicio anterior	\$ -	\$ -	\$ 152.641.009	\$ 282.948.398	\$ 394.443.381	\$ 471.564.605	\$ 547.326.686
Inversión	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Capital de trabajo	\$ -95.330.180	\$ -72.996.560	\$ -54.184.153	\$ -19.810.395	\$ -18.451.252	\$ -17.137.838	\$ -13.245.940
Valor residual	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Flujo de caja neto	\$ -1.517.300.194	\$ -168.326.740	\$ -127.180.713	\$ -73.994.548	\$ -38.261.647	\$ -35.589.089	\$ -719.336.928

Tabla C.21: Flujo de caja privado entre los años 7 y 13 del proyecto, escenario 2.

	7	8	9	10	11	12	13
Ingresos	\$ 122.077.061	\$ 134.836.363	\$ 147.823.050	\$ 172.540.934	\$ 174.470.730	\$ 176.364.719	\$ 187.549.010
Costos	\$ -135.323.001	\$ -176.194.834	\$ -178.442.623	\$ -194.135.897	\$ -194.469.914	\$ -194.797.733	\$ -196.733.556
Depreciación	\$ -76.940.824	\$ -76.940.824	\$ -76.940.824	\$ -76.940.824	\$ -76.643.416	\$ -76.643.416	\$ -118.874.880
Pérdidas del ejercicio anterior	\$ -621.775.353	\$ -711.962.117	\$ -830.261.413	\$ -937.821.810	\$ -1.036.357.597	\$ -1.133.000.196	\$ -1.228.076.627
Utilidad antes de impuesto	\$ -711.962.117	\$ -830.261.413	\$ -937.821.810	\$ -1.036.357.597	\$ -1.133.000.196	\$ -1.228.076.627	\$ -1.356.136.054
Impuesto a la renta (27%)	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Utilidad después de impuesto	\$ -711.962.117	\$ -830.261.413	\$ -937.821.810	\$ -1.036.357.597	\$ -1.133.000.196	\$ -1.228.076.627	\$ -1.356.136.054
Depreciación	\$ 76.940.824	\$ 76.940.824	\$ 76.940.824	\$ 76.940.824	\$ 76.643.416	\$ 76.643.416	\$ 118.874.880
Pérdidas del ejercicio anterior	\$ 621.775.353	\$ 711.962.117	\$ 830.261.413	\$ 937.821.810	\$ 1.036.357.597	\$ 1.133.000.196	\$ 1.228.076.627
Inversión	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Capital de trabajo	\$ -41.358.471	\$ -30.619.573	\$ -21.594.963	\$ -19.999.183	\$ -18.433.014	\$ -9.184.547	\$ -
Valor residual	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Flujo de caja neto	\$ -54.604.412	\$ -71.978.044	\$ -52.214.536	\$ -41.594.146	\$ -38.432.198	\$ -985.773.292	\$ -9.184.547

Tabla C.22: Flujo de caja privado entre los años 14 y 20 del proyecto, escenario 2.

	14	15	16	17	18	19	20
Ingresos	\$ 218.606.250	\$ 250.556.822	\$ 298.029.969	\$ 301.251.118	\$ 304.438.516	\$ 307.592.823	\$ 307.592.823
Costos	\$ -202.109.072	\$ -246.302.608	\$ -265.934.457	\$ -266.491.986	\$ -267.043.674	\$ -267.589.635	\$ -267.589.635
Depreciación	\$ -118.874.880	\$ -118.874.880	\$ -83.627.691	\$ -83.413.583	\$ -73.517.750	\$ -99.435.408	\$ -99.435.408
Pérdidas del ejercicio anterior	\$ -1.356.136.054	\$ -1.458.513.755	\$ -1.573.134.422	\$ -1.624.666.600	\$ -1.673.321.052	\$ -1.709.443.960	\$ -1.768.876.180
Utilidad antes de impuesto	\$ -1.458.513.755	\$ -1.573.134.422	\$ -1.624.666.600	\$ -1.673.321.052	\$ -1.709.443.960	\$ -1.768.876.180	\$ -1.828.308.401
Impuesto a la renta (27%)	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Utilidad después de impuesto	\$ -1.458.513.755	\$ -1.573.134.422	\$ -1.624.666.600	\$ -1.673.321.052	\$ -1.709.443.960	\$ -1.768.876.180	\$ -1.828.308.401
Depreciación	\$ 118.874.880	\$ 118.874.880	\$ 83.627.691	\$ 83.413.583	\$ 73.517.750	\$ 99.435.408	\$ 99.435.408
Pérdidas del ejercicio anterior	\$ 1.356.136.054	\$ 1.458.513.755	\$ 1.573.134.422	\$ 1.624.666.600	\$ 1.673.321.052	\$ 1.709.443.960	\$ 1.768.876.180
Inversión	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Capital de trabajo	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 432.346.070
Valor residual	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 1.196.724.338
Flujo de caja neto	\$ 16.497.178	\$ 4.254.213	\$ 32.095.513	\$ 34.759.132	\$ -118.111.111	\$ 40.003.188	\$ 1.669.073.596

Anexo D. Evaluación Social

D.1. Corrección a precios sociales

Para realizar la evaluación social se corrigieron los valores de mercado a precios sociales, según la información entregada por el Sistema Nacional de Inversiones y el Ministerio de Desarrollo Social y Familia. En particular, se utilizó el documento “Precios Sociales Vigentes” y la “Planilla de Corrección de Precios Sociales” [63].

De esta forma, se utilizaron los siguientes factores de corrección (Tabla D.1) y precios sociales (Tabla D.2).

Tabla D.1: Factores de corrección de ajuste a precios sociales.

Parámetro	Factor de corrección
Inversión	
Terreno	1
Maquinaria y equipos	0,839
Sistema de aireación forzada	0,819
Obras civiles	0,791
Equipamiento	0,840
Kits domiciliarios	0,840
Ingeniería y diseño	0,824
Mano de Obra	
Mano de obra calificada	0,98
Mano de obra semi calificada	0,68
Mano de obra no calificada	0,62
Mantenimiento	
Mantenimiento	0,825

Tabla D.2: Precios sociales utilizados.

Precio social	Valor	Unidad
Diésel	409	CLP/L
CO_2	23.926	CLP/ton CO_2

D.2. Inversión

En las Tablas D.3, D.4, D.5 y D.6 se muestran los costos de inversión para cada una de las etapas del proyecto, ajustados a los precios sociales.

Tabla D.3: Inversión del proyecto para el año 0, en precios sociales.

Inversión Año 0	Total (CLP)	Total ajustado (CLP)
Terreno	\$ 13.612.877	\$ 13.612.877
Terreno	\$ 13.612.877	
Maquinaria y equipos	\$ 350.582.838	\$ 294.312.820
Cargador frontal	\$ 128.602.348	
Garra forestal	\$ 11.900.000	
Chipeadora	\$ 150.981.250	
Harnero	\$ 19.331.550	
Báscula	\$ 39.767.690	
Sistema de aireación forzada	\$ 237.500.000	\$ 194.458.384
Sistema de aireación forzada	\$ 178.125.000	
Membranas semipermeables	\$ 59.375.000	
Obras civiles	\$ 593.519.929	\$ 469.628.876
Galpón compostaje	\$ 155.695.636	
Losa hormigón	\$ 258.853.181	
Pavimentos exteriores	\$ 45.343.760	
Estanque lixiviados	\$ 25.479.724	
Oficina e instalaciones sanitarias	\$ 22.385.935	
Sistema de agua y alcantarillado	\$ 11.501.529	
Instalación eléctrica	\$ 17.365.113	
Cerco perimetral	\$ 11.474.389	
Caseta de vigilancia	\$ 1.190.000	
Portón de acceso	\$ 856.800	
Camino de acceso	\$ 22.989.163	
Otros (actividades preliminares, transporte)	\$ 20.384.700	
Equipamiento	\$ 2.974.080	\$ 2.499.227
Bomba extracción lixiviados	\$ 800.000	
Herramientas de trabajo de compost	\$ 201.110	
Contenedores rechazo	\$ 1.139.970	
Equipamiento oficina	\$ 833.000	
Kits domiciliarios	\$ 144.167.432	\$ 121.149.103
Contenedor 10L	\$ 48.279.326	
Contenedor 40L	\$ 95.888.106	
Otros	\$ 67.173.064	\$ 65.073.064
Ingeniería y diseño	\$ 11.900.000	\$ 9.800.000
Costos imprevistos	\$ 55.273.064	\$ 55.273.064
Total		\$ 1.160.734.351

Tabla D.4: Inversión del proyecto para el año 6, en precios sociales.

Inversión Año 6	Total (CLP)	Total ajustado (CLP)
Sistema de aireación forzada	\$ 183.779.762	\$ 150.473.750
Sistema de aireación forzada	\$ 93.303.571	
Membranas semipermeables	\$ 90.476.190	
Obras civiles	\$ 400.605.858	\$ 316.983.591
Galpón compostaje	\$ 81.554.857	
Losa hormigón	\$ 283.505.865	
Estanque lixiviados	\$ 15.160.436	
Otros (actividades preliminares, transporte)	\$ 20.384.700	
Equipamiento	\$ 2.141.080	\$ 1.799.227
Bomba extracción lixiviados	\$ 800.000	
Herramientas de trabajo de compost	\$ 201.110	
Contenedores rechazo	\$ 1.139.970	
Kits domiciliarios	\$ 57.719.157	\$ 48.503.493
Contenedor 10L	\$ 19.329.206	
Contenedor 40L	\$ 38.389.951	
Otros	\$ 38.278.003	\$ 36.178.003
Ingeniería y diseño	\$ 11.900.000	\$ 9.800.000
Costos imprevistos	\$ 26.378.003	\$ 26.378.003
Total		\$ 554.279.917

Tabla D.5: Inversión del proyecto para el año 12, en precios sociales.

Inversión Año 12	Total (CLP)	Total ajustado (CLP)
Sistema de aireación forzada	\$ 350.595.238	\$ 287.057.615
Sistema de aireación forzada	\$ 195.089.286	
Membranas semipermeables	\$ 155.505.952	
Obras civiles	\$ 504.735.228	\$ 399.377.049
Galpón compostaje	\$ 170.523.792	
Losa hormigón	\$ 283.505.865	
Estanque lixiviados	\$ 30.320.872	
Otros (actividades preliminares, transporte)	\$ 20.384.700	
Equipamiento	\$ 2.141.080	\$ 1.799.227
Bomba extracción lixiviados	\$ 800.000	
Herramientas de trabajo de compost	\$ 201.110	
Contenedores rechazo	\$ 1.139.970	
Kits domiciliarios	\$ 43.157.721	\$ 36.266.993
Contenedor 10L	\$ 14.452.818	
Contenedor 40L	\$ 28.704.903	
Otros	\$ 48.615.044	\$ 46.515.044
Ingeniería y diseño	\$ 11.900.000	\$ 9.800.000
Costos imprevistos	\$ 36.715.044	\$ 26.378.003
Total		\$ 771.015.928

Tabla D.6: Inversión del proyecto para el año 18, en precios sociales.

Inversión Año 18	Total (CLP)	Total ajustado (CLP)
Sistema de aireación forzada	\$ 155.505.952	\$ 127.323.942
Membranas semipermeables	\$ 155.505.952	
Total		\$ 127.323.942

D.3. Costos

A continuación se presentan los costos de operación y mantenimiento del proyecto, ajustados a precios sociales (Tablas D.7, D.8, D.9 y D.10).

Tabla D.7: Costos del proyecto entre los años 1 y 6, en precios sociales.

	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6
(1) Costos de operación (1.1)+(1.2)	\$ 85.421.175	\$ 80.806.846	\$ 88.953.693	\$ 99.326.884	\$ 99.416.674	\$ 99.503.444
(1.1) Costos variables	\$ 445.815	\$ 1.531.486	\$ 3.210.333	\$ 6.235.324	\$ 6.325.114	\$ 6.411.884
(a) Planta de compostaje						
Electricidad maquinaria	\$ 66.339	\$ 227.890	\$ 477.708	\$ 927.837	\$ 941.198	\$ 954.110
Combustible maquinaria	\$ 379.476	\$ 1.303.596	\$ 2.732.625	\$ 5.307.487	\$ 5.383.916	\$ 5.457.774
(1.2) Costos fijos	\$ 84.975.360	\$ 79.275.360	\$ 85.743.360	\$ 93.091.560	\$ 93.091.560	\$ 93.091.560
(a) Planta de compostaje						
Sueldos operación planta	\$ 19.108.200	\$ 19.108.200	\$ 19.108.200	\$ 26.456.400	\$ 26.456.400	\$ 26.456.400
(b) Recolección diferenciada						
Sueldos recolección diferenciada	\$ 18.307.200	\$ 18.307.200	\$ 18.307.200	\$ 18.307.200	\$ 18.307.200	\$ 18.307.200
Transporte a planta compostaje	\$ 8.359.960	\$ 8.359.960	\$ 8.359.960	\$ 8.359.960	\$ 8.359.960	\$ 8.359.960
(c) Capacitación y educación ambiental						
Capacitación y educación constante	\$ 39.200.000	\$ 33.500.000	\$ 39.968.000	\$ 39.968.000	\$ 39.968.000	\$ 39.968.000
(2) Costos de mantenimiento	\$ 548.146	\$ 1.883.020	\$ 3.947.226	\$ 7.666.567	\$ 7.776.967	\$ 7.883.654
(a) Planta de compostaje						
Costos de mantenimiento	\$ 548.146	\$ 1.883.020	\$ 3.947.226	\$ 7.666.567	\$ 7.776.967	\$ 7.883.654
(3) Total costos (1)+(2) (CLP)	\$ 85.969.321	\$ 82.689.867	\$ 92.900.919	\$ 106.993.450	\$ 107.193.642	\$ 107.387.098

Tabla D.8: Costos del proyecto entre los años 7 y 12, en precios sociales.

	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10	Año 11	Año 12
(1) Costos de operación (1.1)+(1.2)	\$ 99.760.558	\$ 127.124.752	\$ 127.834.207	\$ 136.532.730	\$ 136.638.154	\$ 136.741.621
(1.1) Costos variables	\$ 6.668.998	\$ 7.366.032	\$ 8.075.487	\$ 9.425.810	\$ 9.531.234	\$ 9.634.701
(a) Planta de compostaje						
Electricidad maquinaria	\$ 992.369	\$ 1.096.090	\$ 1.201.659	\$ 1.402.592	\$ 1.418.279	\$ 1.433.676
Combustible maquinaria	\$ 5.676.629	\$ 6.269.942	\$ 6.873.827	\$ 8.023.218	\$ 8.112.954	\$ 8.201.026
(1.2) Costos fijos	\$ 93.091.560	\$ 119.758.720	\$ 119.758.720	\$ 127.106.920	\$ 127.106.920	\$ 127.106.920
(a) Planta de compostaje						
Sueldos operación planta	\$ 26.456.400	\$ 26.456.400	\$ 26.456.400	\$ 33.804.600	\$ 33.804.600	\$ 33.804.600
(b) Recolección diferenciada						
Sueldos recolección diferenciada	\$ 18.307.200	\$ 36.614.400	\$ 36.614.400	\$ 36.614.400	\$ 36.614.400	\$ 36.614.400
Transporte a planta compostaje	\$ 8.359.960	\$ 16.719.920	\$ 16.719.920	\$ 16.719.920	\$ 16.719.920	\$ 16.719.920
(c) Capacitación y educación ambiental						
Capacitación y educación constante	\$ 39.968.000	\$ 39.968.000	\$ 39.968.000	\$ 39.968.000	\$ 39.968.000	\$ 39.968.000
(2) Costos de mantenimiento	\$ 8.199.786	\$ 9.056.814	\$ 9.929.116	\$ 11.589.390	\$ 11.719.013	\$ 11.846.230
(a) Planta de compostaje						
Costos de mantenimiento	\$ 8.199.786	\$ 9.056.814	\$ 9.929.116	\$ 11.589.390	\$ 11.719.013	\$ 11.846.230
(3) Total costos (1)+(2) (CLP)	\$ 107.960.344	\$ 136.181.566	\$ 137.763.323	\$ 148.122.120	\$ 148.357.166	\$ 148.587.851

Tabla D.9: Costos del proyecto entre los años 13 y 18, en precios sociales.

	Año 13	Año 14	Año 15	Año 16	Año 17	Año 18
(1) Costos de operación (1.1)+(1.2)	\$ 137.352.613	\$ 139.049.251	\$ 167.461.852	\$ 177.403.483	\$ 177.579.452	\$ 177.753.578
(1.1) Costos variables	\$ 10.245.693	\$ 11.942.331	\$ 13.687.772	\$ 16.281.203	\$ 16.457.172	\$ 16.631.298
(a) Planta de compostaje						
Electricidad maquinaria	\$ 1.524.593	\$ 1.777.059	\$ 2.036.786	\$ 2.422.697	\$ 2.448.882	\$ 2.474.792
Combustible maquinaria	\$ 8.721.099	\$ 10.165.273	\$ 11.650.986	\$ 13.858.505	\$ 14.008.290	\$ 14.156.505
(1.2) Costos fijos	\$ 127.106.920	\$ 127.106.920	\$ 153.774.080	\$ 161.122.280	\$ 161.122.280	\$ 161.122.280
(a) Planta de compostaje						
Sueldos operación planta	\$ 33.804.600	\$ 33.804.600	\$ 33.804.600	\$ 41.152.800	\$ 41.152.800	\$ 41.152.800
(b) Recolección diferenciada						
Sueldos recolección diferenciada	\$ 36.614.400	\$ 36.614.400	\$ 54.921.600	\$ 54.921.600	\$ 54.921.600	\$ 54.921.600
Transporte a planta compostaje	\$ 16.719.920	\$ 16.719.920	\$ 25.079.880	\$ 25.079.880	\$ 25.079.880	\$ 25.079.880
(c) Capacitación y educación ambiental						
Capacitación y educación constante	\$ 39.968.000	\$ 39.968.000	\$ 39.968.000	\$ 39.968.000	\$ 39.968.000	\$ 39.968.000
(2) Costos de mantenimiento	\$ 12.597.467	\$ 14.683.548	\$ 16.829.634	\$ 20.018.355	\$ 20.234.716	\$ 20.448.810
(a) Planta de compostaje						
Costos de mantenimiento	\$ 12.597.467	\$ 14.683.548	\$ 16.829.634	\$ 20.018.355	\$ 20.234.716	\$ 20.448.810
(3) Total costos (1)+(2) (CLP)	\$ 149.950.079	\$ 153.732.800	\$ 184.291.487	\$ 197.421.837	\$ 197.814.168	\$ 198.202.388

Tabla D.10: Costos del proyecto entre los años 19 y 20, en precios sociales.

	Año 19	Año 20
(1) Costos de operación (1.1)+(1.2)	\$ 177.925.896	\$ 177.925.896
(1.1) Costos variables	\$ 16.803.616	\$ 16.803.616
(a) Planta de compostaje		
Electricidad maquinaria	\$ 2.500.434	\$ 2.500.434
Combustible maquinaria	\$ 14.303.182	\$ 14.303.182
(1.2) Costos fijos	\$ 161.122.280	\$ 161.122.280
(a) Planta de compostaje		
Sueldos operación planta	\$ 41.152.800	\$ 41.152.800
(b) Recolección diferenciada		
Sueldos recolección diferenciada	\$ 54.921.600	\$ 54.921.600
Transporte a planta compostaje	\$ 25.079.880	\$ 25.079.880
(c) Capacitación y educación ambiental		
Capacitación y educación constante	\$ 39.968.000	\$ 39.968.000
(2) Costos de mantenimiento	\$ 20.660.681	\$ 20.660.681
(a) Planta de compostaje		
Costos de mantenimiento	\$ 20.660.681	\$ 20.660.681
(3) Total costos (1)+(2) (CLP)	\$ 198.586.577	\$ 198.586.577

D.4. Beneficios

Los beneficios asociados al proyecto se pueden ver en las Tablas D.11, D.12, D.13 y D.14.

Tabla D.11: Beneficios del proyecto entre los años 1 y 6.

Beneficios	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6
Producción de compost	\$ 8.160.709	\$ 28.034.097	\$ 58.765.648	\$ 114.138.581	\$ 115.782.211	\$ 117.370.539
Precio compost (CLP/ton)	\$ 80.417	\$ 80.417	\$ 80.417	\$ 80.417	\$ 80.417	\$ 80.417
Compost producido (ton/año)	101	349	731	1.419	1.440	1.460
Menor disposición de residuos	\$ 17.518.534	\$ 60.180.588	\$ 126.151.780	\$ 245.020.445	\$ 248.548.813	\$ 251.958.465
Costo por tonelada dispuesta (CLP/ton)	\$ 16.000	\$ 16.000	\$ 16.000	\$ 16.000	\$ 16.000	\$ 16.000
Costo por tonelada recolectada (CLP/ton)	\$ 44.421	\$ 44.421	\$ 44.421	\$ 44.421	\$ 44.421	\$ 44.421
Masa de residuos desviadas (ton/año)	290	996	2.088	4.055	4.114	4.170
Beneficio total (CLP/año)	\$ 25.679.244	\$ 88.214.684	\$ 184.917.427	\$ 359.159.026	\$ 364.331.024	\$ 369.329.005

Tabla D.12: Beneficios del proyecto entre los años 7 y 12.

Beneficios	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10	Año 11	Año 12
Producción de compost	\$ 122.077.061	\$ 134.836.363	\$ 147.823.050	\$ 172.540.934	\$ 174.470.730	\$ 176.364.719
Precio compost (CLP/ton)	\$ 80.417	\$ 80.417	\$ 80.417	\$ 80.417	\$ 80.417	\$ 80.417
Compost producido (ton/año)	1.518	1.677	1.838	2.146	2.170	2.193
Menor disposición de residuos	\$ 262.061.920	\$ 289.452.219	\$ 317.330.644	\$ 370.392.342	\$ 374.535.021	\$ 378.600.832
Costo por tonelada dispuesta (CLP/ton)	\$ 16.000	\$ 16.000	\$ 16.000	\$ 16.000	\$ 16.000	\$ 16.000
Costo por tonelada recolectada (CLP/ton)	\$ 44.421	\$ 44.421	\$ 44.421	\$ 44.421	\$ 44.421	\$ 44.421
Masa de residuos desviadas (ton/año)	4.337	4.791	5.252	6.130	6.199	6.266
Beneficio total (CLP/año)	\$ 384.138.981	\$ 424.288.581	\$ 465.153.694	\$ 542.933.276	\$ 549.005.751	\$ 554.965.550

Tabla D.13: Beneficios del proyecto entre los años 13 y 18.

Beneficios	Año 13	Año 14	Año 15	Año 16	Año 17	Año 18
Producción de compost	\$ 187.549.010	\$ 218.606.250	\$ 250.556.822	\$ 298.029.969	\$ 301.251.118	\$ 304.438.516
Precio compost (CLP/ton)	\$ 80.417	\$ 80.417	\$ 80.417	\$ 80.417	\$ 80.417	\$ 80.417
Compost producido (ton/año)	2.332	2.718	3.116	3.706	3.746	3.786
Menor disposición de residuos	\$ 402.610.067	\$ 469.280.414	\$ 537.868.469	\$ 639.778.722	\$ 646.693.538	\$ 653.535.901
Costo por tonelada dispuesta (CLP/ton)	\$ 16.000	\$ 16.000	\$ 16.000	\$ 16.000	\$ 16.000	\$ 16.000
Costo por tonelada recolectada (CLP/ton)	\$ 44.421	\$ 44.421	\$ 44.421	\$ 44.421	\$ 44.421	\$ 44.421
Masa de residuos desviadas (ton/año)	6.663	7.767	8.902	10.589	10.703	10.816
Beneficio total (CLP/año)	\$ 590.159.076	\$ 687.886.664	\$ 788.425.290	\$ 937.808.691	\$ 947.944.656	\$ 957.974.416

Tabla D.14: Beneficios del proyecto entre los años 19 y 20.

Beneficios	Año 19	Año 20
Producción de compost	\$ 307.592.823	\$ 307.592.823
Precio compost (CLP/ton)	\$ 80.417	\$ 80.417
Compost producido (ton/año)	3.825	3.825
Menor disposición de residuos	\$ 660.307.229	\$ 660.307.229
Costo por tonelada dispuesta (CLP/ton)	\$ 16.000	\$ 16.000
Costo por tonelada recolectada (CLP/ton)	\$ 44.421	\$ 44.421
Masa de residuos desviadas (ton/año)	10.928	10.928
Beneficio total (CLP/año)	\$ 967.900.052	\$ 967.900.052

D.5. Externalidades

En las Tablas D.15, D.16, D.17 y D.18 se muestran las externalidades del proyecto, asociadas a la reducción de las emisiones de GEI.

Tabla D.15: Externalidades generadas por el proyecto entre los años 1 y 6.

	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6
Precio Social CO2 (CLP/ton CO2-eq)	\$ 23.926	\$ 23.926	\$ 23.926	\$ 23.926	\$ 23.926	\$ 23.926
Emisiones de GEI reducidas (ton CO2-eq)	41	-34	-219	-578	-1.077	-1.516
Beneficio por reducción de emisiones (CLP)	\$ -974.987	\$ 815.410	\$ 5.231.736	\$ 13.829.419	\$ 25.757.396	\$ 36.277.541

Tabla D.16: Externalidades generadas por el proyecto entre los años 7 y 12.

	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10	Año 11	Año 12
Precio Social CO2 (CLP/ton CO2-eq)	\$ 23.926	\$ 23.926	\$ 23.926	\$ 23.926	\$ 23.926	\$ 23.926
Emisiones de GEI reducidas (ton CO2-eq)	-1.870	-2.250	-2.647	-3.078	-3.539	-3.950
Beneficio por reducción de emisiones (CLP)	\$ 44.730.068	\$ 53.841.989	\$ 63.327.091	\$ 73.651.116	\$ 84.685.931	\$ 94.518.614

Tabla D.17: Externalidades generadas por el proyecto entre los años 13 y 18.

	Año 13	Año 14	Año 15	Año 16	Año 17	Año 18
Precio Social CO2 (CLP/ton CO2-eq)	\$ 23.926	\$ 23.926	\$ 23.926	\$ 23.926	\$ 23.926	\$ 23.926
Emisiones de GEI reducidas (ton CO2-eq)	-4.279	-4.706	-5.238	-5.891	-6.623	-7.275
Beneficio por reducción de emisiones (CLP)	\$ 102.390.715	\$ 112.601.678	\$ 125.324.229	\$ 140.942.869	\$ 158.451.825	\$ 174.066.225

Tabla D.18: Externalidades generadas por el proyecto entre los años 19 y 20.

	Año 19	Año 20
Precio Social CO2 (CLP/ton CO2-eq)	\$ 23.926	\$ 23.926
Emisiones de GEI reducidas (ton CO2-eq)	-7.860	-8.381
Beneficio por reducción de emisiones (CLP)	\$ 188.050.856	\$ 200.520.161

D.6. Flujo de caja social

El flujo de caja social del proyecto se encuentra en las Tablas D.19, D.20 y D.21.

Tabla D.19: Flujo de caja social entre los años 0 y 6 del proyecto.

	0	1	2	3	4	5	6
Beneficios	\$ -	\$ 25.679.244	\$ 88.214.684	\$ 184.917.427	\$ 359.159.026	\$ 364.331.024	\$ 369.329.005
Costos	\$ -	\$ -85.969.321	\$ -82.689.867	\$ -92.900.919	\$ -106.993.450	\$ -107.193.642	\$ -107.387.098
Externalidades	\$ -	\$ -974.987	\$ 815.410	\$ 5.231.736	\$ 13.829.419	\$ 25.757.396	\$ 36.277.541
Inversión	\$ -1.160.734.351	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -553.938.064
Valor residual	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Flujo de caja social neto (CLP)	\$ -1.160.734.351	\$ -61.265.064	\$ 6.340.228	\$ 97.248.244	\$ 265.994.995	\$ 282.894.778	\$ -255.718.617

Tabla D.20: Flujo de caja social entre los años 7 y 13 del proyecto.

	7	8	9	10	11	12	13
Beneficios	\$ 384.138.981	\$ 424.288.581	\$ 465.153.694	\$ 542.933.276	\$ 549.005.751	\$ 554.965.550	\$ 590.159.076
Costos	\$ -107.960.344	\$ -136.181.566	\$ -137.763.323	\$ -148.122.120	\$ -148.357.166	\$ -148.587.851	\$ -149.950.079
Externalidades	\$ 44.730.068	\$ 53.841.989	\$ 63.327.091	\$ 73.651.116	\$ 84.685.931	\$ 94.518.614	\$ 102.390.715
Inversión	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -771.015.928	\$ -
Valor residual	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Flujo de caja social neto (CLP)	\$ 320.908.705	\$ 341.949.004	\$ 390.717.462	\$ 468.462.272	\$ 485.334.516	\$ -270.119.614	\$ 542.599.712

Tabla D.21: Flujo de caja social entre los años 14 y 20 del proyecto.

	14	15	16	17	18	19	20
Beneficios	\$ 687.886.664	\$ 788.425.290	\$ 937.808.691	\$ 947.944.656	\$ 957.974.416	\$ 967.900.052	\$ 967.900.052
Costos	\$ -153.732.800	\$ -184.291.487	\$ -197.421.837	\$ -197.814.168	\$ -198.202.388	\$ 198.586.577	\$ -198.586.577
Externalidades	\$ 112.601.678	\$ 125.324.229	\$ 140.942.869	\$ 158.451.825	\$ 174.066.225	\$ 188.050.856	\$ 200.520.161
Inversión	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -155.505.952	\$ -	\$ -
Valor residual	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 1.196.724.338
Flujo de caja social neto (CLP)	\$ 646.755.542	\$ 729.458.033	\$ 881.329.723	\$ 908.582.312	\$ 778.332.301	\$ 957.364.331	\$ 2.166.557.974