



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

EVALUACIÓN DE UN PLAN DE GESTIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS  
DOMICILIARIOS EN LA COMUNA DE COCHAMÓ, INGENIERÍA CONCEPTUAL

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERA CIVIL QUÍMICA

CAMILA AYLWIN RIOS

PROFESOR GUÍA:  
FELIPE DIAZ ALVARADO

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:  
FRANCISCO GRACIA CAROCA  
DIEGO DE LA FUENTE LLOVET

SANTIAGO DE CHILE  
2017

RESUMEN DE LA MEMORIA PARA OPTAR  
AL TÍTULO DE: Ingeniera Civil Química  
POR: Camila Aylwin Rios  
FECHA: 18 de Noviembre de 2017  
PROFESOR GUÍA: Felipe Díaz Alvarado

## EVALUACIÓN DE UN PLAN DE GESTIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS DOMICILIARIOS EN LA COMUNA DE COCHAMÓ, INGENIERÍA CONCEPTUAL

El aumento progresivo en la generación de residuos, producto del estilo de vida de consumo adoptado por la sociedad, ha provocado múltiples impactos negativos para la salud humana y el medio ambiente. En Chile, las municipalidades han debido enfrentar solas los problemas relacionados a la gestión de los residuos, siendo las comunas rurales las más afectadas, debido la falta de recursos y conocimientos técnicos.

En este contexto se elige trabajar con la comuna de Cochamó, Región de Los Lagos, zona rural y aislada. Ésta cuenta con cerca de 4 mil habitantes, que se dispersan en el territorio. Hoy la comuna presenta problemas en la gestión de sus residuos, evidenciado en la existencia de microbasurales, contaminación de los suelos y agua y el colapso del sistema de recolección de residuos. Por estas razones, se decide trabajar en la evaluación de un plan de gestión de residuos sólidos domiciliarios en la comuna, con el fin de apoyar a la municipalidad.

En primer lugar, se realiza un diagnóstico de la situación actual en materias de gestión de residuos, concluyendo que la causa principal radica en deficiencias en la gestión municipal, por la inexistencia de un organismo municipal a cargo del aseo y ornato. Además, se concluye la importancia de buscar soluciones que resuelvan los problemas básicos de recolección de residuos y que genere opciones de valorización, por medio de proyectos de fácil operación y bajo costo.

Entendiendo el contexto, se escogen 3 alternativas: 2 opciones de pretratamiento de reciclables, que difieren entre si en la logística de recolección, y la opción de disposición de residuos en relleno sanitario (situación actual mejorada). Se estiman dos casos base de 130 ton/mes y 65 ton/mes de generación de residuos, que permiten calcular los elementos de inversión y de operación. Con esto se dimensiona el equipamiento e infraestructura y la logística de transporte.

A partir de la evaluación ambiental, se obtiene que la alternativa con mayores emisiones de gases de efecto invernadero corresponde a la opción de disponer los residuos en relleno sanitario. Para ésta se estiman 360 tonCO<sub>2</sub>eq/año, llegando a duplicar el valor de las otras alternativas, en el caso más optimista de recuperación de reciclables.

En cuanto a la evaluación económica, se concluye que a partir del 25-30% de materiales reciclables recuperados en la comuna, las alternativas de pretratamiento de reciclables son más convenientes que disponer los residuos en rellenos sanitarios. Sin embargo, en ninguna de las alternativas evaluadas se obtienen VANS positivos. Esto se debe a que no se cuantifican los beneficios sociales, quedando pendiente para estudios futuros.

De todas formas, se escoge una de las alternativas que incluye el pretratamiento de reciclables, asumiendo que se lograrán los porcentajes de segregación en el origen necesarios para que sea conveniente frente a la situación actual mejorada. El proyecto escogido contempla la construcción de dos centros de acopio y la recolección segregada de los residuos, permitiendo recuperar los materiales reciclables de la comuna para venderlos a empresas de reciclaje. Se estima una inversión de MM\$300, costos de operación anual de MM\$58 e ingresos de MM\$36, considerando la recuperación del 30% de los reciclables. Finalmente, se recomienda seguir con la ingeniería básica de la alternativa escogida.

# Tabla de contenido

<b>1</b>	<b>Introducción</b>	<b>1</b>
1.1	Antecedentes	1
1.1.1	Los residuos	1
1.1.2	Residuos sólidos en Chile	2
1.1.3	Estado de la política de residuos en Chile	4
1.1.4	Definición del caso	7
1.2	Objetivos	11
<b>2</b>	<b>Diagnóstico del caso</b>	<b>12</b>
2.1	Residuos sólidos en la comuna de Cochamó	12
2.2	Efectos directos observados	14
2.3	Análisis del contexto	16
2.4	Identificación del problema	17
<b>3</b>	<b>Gestión de residuos sólidos</b>	<b>20</b>
3.1	Alternativas de tratamiento final de residuos	20
3.2	Alternativas de recolección y transporte de residuos	21
<b>4</b>	<b>Caso Base</b>	<b>24</b>
<b>5</b>	<b>Selección de alternativas</b>	<b>26</b>
5.1	Selección de tecnologías de tratamiento de residuos	28
5.2	Selección de logística de recolección y transporte	29
5.3	Descripción de alternativas	30
5.3.1	Alternativa 1:	31
5.3.2	Alternativa 2:	31
5.3.3	Alternativa 3:	32
<b>6</b>	<b>Proceso de gestión de residuos</b>	<b>34</b>
<b>7</b>	<b>Resultados</b>	<b>36</b>
7.1	Dimensionamiento de equipamiento e infraestructura	36
7.1.1	Alternativa 1	37
7.1.2	Alternativa 2	37
7.1.3	Alternativa 3	40
7.1.4	Discusiones	42
7.2	Cálculo de logística de transporte	42
7.2.1	Alternativa 1	44
7.2.2	Alternativa 2	44
7.2.3	Alternativa 3	46
7.2.4	Discusiones	48
<b>8</b>	<b>Estructura organizacional</b>	<b>51</b>
<b>9</b>	<b>Evaluación ambiental</b>	<b>53</b>
<b>10</b>	<b>Evaluación económica</b>	<b>57</b>
10.1	Análisis de costos sociales	57
10.2	Discusiones	61
10.3	Fuente de financiamiento	63
<b>11</b>	<b>Discusiones y recomendación</b>	<b>64</b>

11.1	Elección de la alternativa .....	64
11.2	Análisis del proyecto escogido.....	65
11.2.1	Beneficios .....	65
11.2.2	Consideraciones.....	65
11.2.3	Contexto nacional.....	66
12	Conclusiones .....	68
13	Bibliografía .....	70
14	Anexo.....	75
A.	Disposición de RSD en relleno sanitario La Laja .....	75
B.	Cobertura de recolección de RSD .....	75
C.	Producción per cápita de RSD.....	76
D.	Árbol de decisiones .....	77
E.	Tasa de crecimiento anual de la población .....	78
F.	Caso Base.....	78
G.	Generación por tipo de material y por zona.....	80
H.	Método de resolución .....	82
I.	Balances de masa .....	84
J.	Dimensionamiento equipamiento e infraestructura Alternativa 1.....	90
K.	Dimensionamiento equipamiento e infraestructura Alternativa 2 .....	91
L.	Dimensionamiento equipamiento e infraestructura Alternativa 3 .....	96
M.	Logística de transporte .....	98
N.	Evaluación ambiental.....	99
O.	Evaluación económica .....	99
P.	Cotizaciones.....	112

## Índice de Tablas

Tabla 1: Composición de los residuos sólidos municipales generados en 2009.....	3
Tabla 2: Análisis FODA .....	16
Tabla 3: Caso base .....	24
Tabla 4: Generación por tipo de material y por zona (CBI) .....	25
Tabla 5: Generación por tipo de material y por zona (CBO) .....	25
Tabla 6: División de materiales para la venta .....	35
Tabla 7: Generación de RSD y reciclables por zona (CBI).....	36
Tabla 8: Capacidad camiones.....	37
Tabla 9: Capacidad volumétrica contenedores (Alternativa 1).....	37
Tabla 10: Capacidad volumétrica contenedores (Alternativa 2) .....	38
Tabla 11: Dimensiones componentes Centro Acopio Cochamó.....	38
Tabla 12: Dimensiones componentes Centro de Acopio Llanada Grande.....	39
Tabla 13: Capacidad volumétrica contenedores Alternativa 3.....	40
Tabla 14: Dimensiones componentes Centro de Acopio Cochamó.....	41
Tabla 15: Flujo de RSD y reciclables por zona (CBO).....	43
Tabla 16: Logística de transporte (Alternativa 1).....	44
Tabla 17: Frecuencia viajes (Alternativa 2) .....	44
Tabla 18: Eficiencia camión (Alternativa 2) .....	45
Tabla 19: Viajes anuales (Alternativa 2).....	45
Tabla 20: Distancia anual recorrida (Alternativa 2) .....	46
Tabla 21: Frecuencia viajes (Alternativa 3) .....	46
Tabla 22: Eficiencia camión (Alternativa 3) .....	47
Tabla 23: Viajes anuales (Alternativa 3).....	47
Tabla 24: Distancia anual recorrida (Alternativa 3) .....	48
Tabla 25: Resumen distancia recorrida.....	48
Tabla 26: Potencial de Calentamiento Global (Alternativa 2) .....	54
Tabla 27: Potencial de Calentamiento Global (Alternativa 3) .....	55
Tabla 28: Resumen Potencial de Calentamiento Global.....	55
Tabla 29: Inversión.....	57
Tabla 30: Costos de operación.....	57
Tabla 31: Ingresos .....	58
Tabla 32: Componentes flujo de caja .....	58
Tabla 33: Indicadores económicos Alternativa 2.....	59
Tabla 34: Indicadores económicos Alternativa 3.....	59
Tabla 35: Resumen VANS .....	61
Tabla 36: Resumen resultados (30% a reciclar).....	64
Tabla 37: Masa de residuos dispuestos en relleno sanitario.....	75
Tabla 38: Distribución de la población por agrupación habitacional. ....	75
Tabla 39: Tasa de crecimiento de población de la comuna de Cochamó.....	78
Tabla 40: Generación RSD 2017-2027 en la comuna de Cochamó (CBI).....	79
Tabla 41: Generación RSD 2017-2027 en la comuna de Cochamó (CBO).....	80
Tabla 42: Cálculo composición másica de residuos.....	81
Tabla 43: Proporción de habitantes por zona.....	81
Tabla 44: Generación de residuos por zona (CBI) .....	81

Tabla 45: Generación de residuos (CBI) .....	81
Tabla 46: Generación de residuos por zona (CBO) .....	82
Tabla 47: Generación de residuos (CBO) .....	82
Tabla 48: Flujo de residuos posibles de tratar (CBI).....	84
Tabla 49: Flujo de RSD y reciclables por zona (CBI/60%).....	86
Tabla 50: Flujo de residuos posibles de tratar (CBO) .....	86
Tabla 51: Flujo de RSD y reciclables por zona (CBO/10%).....	88
Tabla 52: Flujo de RSD y reciclables por zona (CBO/20%).....	88
Tabla 53: Flujo de RSD y reciclables por zona (CBO/30%).....	88
Tabla 54: Flujo de RSD y reciclables por zona (CBO/40%).....	89
Tabla 55: Flujo de RSD y reciclables por zona (CBO/50%).....	89
Tabla 56: Flujo de RSD y reciclables por zona (CBO/60%).....	89
Tabla 57: Densidad de los residuos .....	90
Tabla 58: Superficie programas Centro de Acopio Cochamó (Alternativa 2) .....	94
Tabla 59: Superficie programas Centro de Acopio Llanada Grande (Alternativa 2) .....	95
Tabla 60: Superficie programas Centro de Acopio Cochamó (Alternativa 3) .....	98
Tabla 61: Distancia por viaje Alternativa 2 .....	98
Tabla 62: Distancia por viaje Alternativa 3 .....	99
Tabla 63: Factores de emisión .....	99
Tabla 64: Parámetros de corrección a precios sociales.....	100
Tabla 65: Inversión Alternativa 1 .....	100
Tabla 66: Inversión Alternativa 2 .....	100
Tabla 67: Inversión Alternativa 3 .....	101
Tabla 68: Costos operacionales Alternativa 1.....	102
Tabla 69: Costos operacionales Alternativa 2.....	102
Tabla 70: Costos operacionales Alternativa 3.....	103
Tabla 71: Ingreso por ventas.....	104
Tabla 72: Flujo de caja del año 0 al 6 en [CLP] Alternativa 1 .....	105
Tabla 73: Flujo de caja del año 7 al 13 en [CLP] Alternativa 1.....	105
Tabla 74: Flujo de caja del año 14 al 20 en [CLP] Alternativa 1 .....	106
Tabla 75: Flujo de caja del año 0 al 6 en [CLP] Alternativa 2 .....	106
Tabla 76: Flujo de caja del año 7 al 13 en [CLP] Alternativa 2.....	107
Tabla 77: Flujo de caja del año 14 al 20 en [CLP] Alternativa 2 .....	107
Tabla 78: Flujo de caja del año 0 al 6 en [CLP] Alternativa 3 .....	108
Tabla 79: Flujo de caja del año 7 al 13 en [CLP] Alternativa 3.....	108
Tabla 80: Flujo de caja del año 14 al 20 en [CLP] Alternativa 3 .....	109

# Índice de Figuras

Figura 1: Generación de residuos sólidos municipales. ....	3
Figura 2: Jerarquía en el manejo de los residuos. ....	5
Figura 3: Mapa de la comuna de Cochamó. ....	8
Figura 4: Sectores de la comuna de Cochamó. ....	9
Figura 5: Disposición de RSD de la comuna de Cochamó en relleno sanitario La Laja. ....	12
Figura 6: Camión recolector de basura y estación de descarte. ....	13
Figura 7: Microbasural en sector cordillerano. ....	14
Figura 8: Iniciativa de segregación de residuos en el hogar. ....	15
Figura 9: Árbol de Causas-Efectos. ....	17
Figura 10: Árbol de Medios-Fines. ....	18
Figura 11: Punto verde. ....	22
Figura 12: Punto limpio. ....	22
Figura 13: Centro de acopio. ....	22
Figura 14: Estación de transferencia. ....	23
Figura 15: Planta de separación mecanizada. ....	23
Figura 17: Opción escogida para el tratamiento de residuos. ....	28
Figura 18: Logística de recolección y transporte de residuos Alternativa 1. ....	31
Figura 19: Logística de recolección y transporte de residuos Alternativa 2. ....	32
Figura 20: Logística de recolección y transporte de residuos Alternativa 3. ....	33
Figura 21: Diagrama de entradas y salidas. ....	34
Figura 22: Diagrama de flujo simple. ....	34
Figura 23: Diagrama de bloques del proceso. ....	35
Figura 24: Diagrama espacial CA Cochamó Alternativa 2. ....	39
Figura 25: Diagrama espacial CA Llanada Grande Alternativa 2. ....	40
Figura 26: Diagrama espacial Centro de Acopio Cochamó Alternativa 3. ....	41
Figura 27: Distancia anual recorrida (Alternativa 2). ....	46
Figura 28: Distancia anual recorrida (Alternativa 3). ....	48
Figura 29: Organigrama alternativa 1. ....	51
Figura 30: Organigrama alternativa 2. ....	52
Figura 31: Organigrama alternativa 3. ....	52
Figura 32: Proceso global del reciclaje. ....	53
Figura 33: Potencial de Calentamiento Global por actividad (Alternativa 2). ....	54
Figura 34: Potencial de Calentamiento Global por actividad (Alternativa 3). ....	55
Figura 35: Valor Actual de Costos. ....	59
Figura 36: Costo por Tonelada Tratada. ....	60
Figura 37: Valor Actual Neto Social. ....	60
Figura 38: Valor Actual Neto Social sensibilizado. ....	61
Figura 39: Árbol de decisiones. ....	77
Figura 40: Diagrama de flujos (CBI/60%). ....	85
Figura 41: Diagrama de flujos (CBO). ....	87
Figura 42: Acumulación de reciclables en CA Cochamó (Alternativa 2). ....	92
Figura 43: Acumulación de material descartado CA Cochamó (Alternativa 2). ....	92
Figura 44: Acumulación de reciclables en CA Llanada Grande (Alternativa 2). ....	94
Figura 45: Acumulación de material descartado CA Llanada Grande (Alternativa 2). ....	95

Figura 46: Acumulación de reciclables en CA Cochamó (Alternativa 3).....	96
Figura 47: Acumulación de material descartado CA Cochamó (Alternativa 3).....	97
Figura 48: Acumulación de RSD CA Cochamó (Alternativa 3).....	97



# 1 Introducción

## 1.1 Antecedentes

### 1.1.1 Los residuos

El crecimiento acelerado de la población, la instalación de los grandes núcleos urbanos, el desarrollo de la industrialización y el aumento del consumo producto del mejoramiento de los estándares de vida de las personas, han provocado un aumento continuo en la generación de residuos. Esto ha significado grandes desafíos para los países en materias de gestión de los residuos.

La Organización de Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE) define residuos como: *aquellas materias que, generadas en las actividades de producción y consumo, no alcanzan en el contexto en el que se producen ningún valor económico, bien porque no existe una tecnología adecuada para su aprovechamiento o bien porque no existe un mercado para los productos recuperados* [1]. Así también, la ley chilena define los residuos como: *sustancia u objeto que su generador desecha o tiene la intención u obligación de desechar de acuerdo a la normativa vigente* [2]. Por lo tanto, el concepto es claramente un término subjetivo, pues dependerá directamente de los actores involucrados la determinación si un objeto es considerado residuo o no, sujeto a su contexto. Además, el concepto legal de residuo va evolucionando con el tiempo, la tecnología, la economía y las exigencias sociales de acuerdo al nivel de vida [1], debiendo los países adaptarse a estas transformaciones.

*En la naturaleza no existen residuos, todo es reincorporado al ciclo a través de las cadenas tróficas y de los ciclos biogeoquímicos, sólo en los ecosistemas con presencia antrópica se generan residuos* [3]. Esta actividad prácticamente inherente al ser humano, ha sido causa de múltiples impactos negativos tanto para la salud humana como para el ambiente. Entre las consecuencias dadas por un manejo inadecuado de los residuos generados se encuentran [3]:

- La contaminación del las aguas superficiales y subterráneas, y la alteración de sus características hidráulicas;
- La alteración de la flora y fauna;
- La alteración de las propiedades físicas, químicas y de fertilidad de los suelos;
- Emisiones atmosféricas de dioxinas y furanos, sulfuros de hidrógeno, entre otros;
- Emisión de gases de efecto invernadero;
- Enfermedades provocadas por vectores sanitarios;
- Impactos paisajísticos;
- Riesgo de accidentes, tales como explosiones o derrumbes;
- Deterioro anímico y mental de las personas directamente afectadas por la cercanía de residuos;
- Malos olores;
- Contaminación acústica derivada del transporte de residuos.

Entendiendo las graves consecuencias que conlleva el manejo inadecuado de los residuos generados por la población y las dificultades técnicas que implica una correcta gestión de éstos, es que esta problemática ha sido identificada como uno de los grandes desafíos a nivel global que debe ser cuidadosamente enfrentado para alcanzar las metas de desarrollo sostenible [4].

Los residuos se pueden clasificar según el riesgo que provocan y su origen. En la primera clasificación se tienen los residuos inertes, no peligrosos y peligrosos. En la segunda, se encuentran los residuos sólidos municipales, industriales, silvoagropecuarios, mineros, de la construcción, hospitalarios y lodos activados. Entre los residuos sólidos municipales se encuentran los residuos sólidos domiciliarios (RSD) y asimilable a domiciliario [5]. Estos corresponden a los desechos generados en los hogares como consecuencia de las actividades domésticas, tales como: residuos orgánicos, materiales recuperables (vidrio, papel, cartón, metal y plástico), residuos con contenidos de sustancias peligrosas (pilas, envases de spray, químicos de hogar), muebles, chatarra, entre otros.

### 1.1.2 Residuos sólidos en Chile

Hasta la fecha existe escasa información sobre generación y gestión de residuos no peligrosos en Chile. Recién a partir del año 2016, se cuenta con nueva información aportada por el Sistema Nacional de Declaración de Residuos (SINADER) y que marca el inicio de una nueva etapa en materia de estadística de residuos [6]. El SINADER obliga a todos los generadores y destinatarios de residuos sólidos, incluyendo a las municipalidades y empresas, que generan o tratan más de 12 toneladas de residuos al año, declararlos a través del Sistema de Ventanilla Única del Registro de Emisiones y Transferencias de Contaminantes [7]. De esta forma se obtendrán registros rigurosos y extensos en el tiempo, permitiendo una mejor gestión de residuos en el país.

Antes de esta fecha se cuenta con datos obtenidos a partir de distintas metodologías, que por lo mismo presentan diferencias. Entre 2009 y 2010 se realizó el estudio “Levantamiento, Análisis, Generación y Publicación de Información Nacional Sobre Residuos Sólidos de Chile”, que presenta resultados en base a la revisión de estudios anteriores y encuestas a municipalidades, empresas generadoras y destinatarios de residuos. Los resultados del estudio muestran el aumento progresivo de la generación de residuos a nivel nacional, estimando para el año 2009 una generación de 16,9 millones de toneladas de residuos, de las cuales 6,5 millones de toneladas corresponden a residuos municipales y 10,4 millones de toneladas a residuos industriales, sin incluir los residuos mineros masivos (Figura 1). Esta información es resumida en el Primer Reporte sobre Manejo de Residuos Sólidos en Chile, elaborado en 2010 y que no posee actualización [8].

En Chile se generan 1,25 kg/hab/día de residuos sólidos urbanos, siendo el país que genera más residuos en América Latina y el Caribe. Asimismo, los valores de residuos estimados en América Latina y el Caribe son inferiores a las cifras de generación per cápita en países desarrollados como Estados Unidos y países europeos. Por ejemplo, en Estados Unidos se generan 2,008 kg/hab/día y en Alemania 1,59 kg/hab/día, lo que demuestra que los países más desarrollados generan mayor flujo de residuos por habitante que los países en vías de desarrollo [1].

Además, se sabe que el aumento de la generación de residuos se correlaciona con el crecimiento poblacional y el PIB nacional [5], siendo visible en el caso de Chile, que ha sufrido un aumento sostenido en todos estos parámetros. Se tiene que entre el año 2000 y el 2009, la generación de residuos sólidos municipales aumentaron un 28%, pasando de aproximadamente 5 millones de toneladas a 6,5 millones de toneladas [8] (Figura 1).

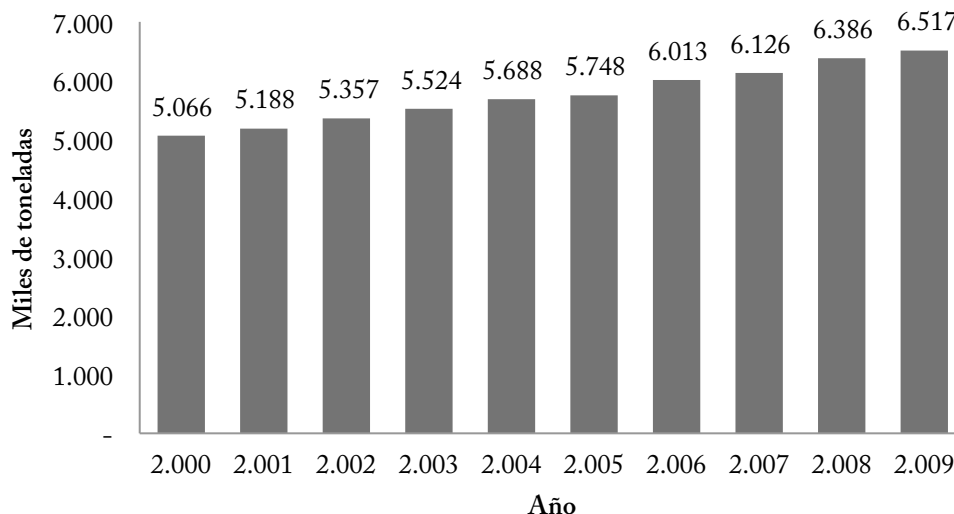


Figura 1: Generación de residuos sólidos municipales [8].

Del total de residuos generados en 2009 más de la mitad corresponde a materia orgánica. Entre los residuos caracterizados, le siguen el papel y cartones, y luego los plásticos. El porcentaje restante corresponde a residuos textiles, vidrios y metales (Tabla 1).

Tabla 1: Composición de los residuos sólidos municipales generados en 2009

Tipo de residuo	Composición [%]
Materia orgánica	53,3
Papeles y cartones	12,4
Plásticos	9,4
Vidrios	6,6
Metales	2,3
Textiles	2,0
Otros	14,0

Existen diversos factores que provocan un aumento en la generación de residuos y complejizan su gestión, resultando ser los principales desafíos para Chile en estas materias como país en desarrollo [3]:

- El proceso de crecimiento, distribución y concentración de la población;
- Las características físicas del país y la distribución de las actividades económicas, que implican la presencia de muchos lugares alejados de zonas pobladas que dificultan la fiscalización y posibilitan la instalación de basurales ilegales;
- El mayor consumo producto del aumento en los ingresos;
- La existencia de deficiencias institucionales, reglamentarias, de fiscalización y gestión.

En cuanto a la disposición final de los residuos sólidos domiciliarios en Chile, se tienen avances importantes, pues se han concentrado esfuerzos políticos por erradicar el uso de vertederos. En 1995 la totalidad de los residuos sólidos municipales se disponían en vertederos o basurales, mientras que en 2005 más del 60% de los residuos se disponen en rellenos sanitarios que cumplen una serie de exigencias técnicas sanitarias y ambientales [3].

En Chile, para el año 2010, la tasa de valorización de residuos rondaba el orden del 10%. De esto, el 52% corresponde a compostaje, 43% a reciclaje, 4% lombricultura y 1% a otros [3]. Por su parte en Europa, según los últimos datos recogidos en Eurostat en el año 2014, del total de los residuos generados, el 28,2% fue reciclado, 16,1% fue a compostaje, 27,3% fue incinerado (incineración total incluyendo recuperación energética) y 28,4% acabó en rellenos sanitarios [4]. Esto demuestra que en Chile el tema del tratamiento de residuos es aún muy incipiente, estando muy lejos de los países de la Unión Europea.

### 1.1.3 Estado de la política de residuos en Chile

La política ambiental en Chile se ha comprometido a afrontar los desafíos globales propuestos en materias medioambientales, participando activamente de la agenda mundial. Chile ha estado presente en las diversas cumbres y conferencias sobre medio ambiente, desarrollo y cambio climático, incorporándose a una red de acuerdos y tratados internacionales ambientales, con el propósito de alcanzar un desarrollo sostenible del país. Entre estos se encuentran el Protocolo de Kioto [9] y el Acuerdo de París [10], que buscan reducir los gases de efecto invernadero y frenar el aumento de la temperatura del planeta.

Históricamente el énfasis de la gestión de residuos ha sido puesto en resolver adecuadamente su disposición final. Sin embargo, ha quedado en evidencia que concentrar los esfuerzos en resolver sanitaria y ambientalmente la disposición final no es suficiente y es necesario redefinir el enfoque de la gestión de los residuos en el país. Es por esto que en el año 2005 se crea la Política de Gestión Integral de Residuos Sólidos elaborada por la entonces Comisión Nacional de Medio Ambiente. El objetivo de esta política era *lograr que el manejo de residuos sólidos se realice con el mínimo riesgo para la salud de la población y el medio ambiente, propiciando una visión integral de los residuos, que asegure un desarrollo sustentable y eficiente del sector*. Uno de los aspectos relevantes que incorpora esta política es la necesidad de contar con una gestión integral de residuos que abarque todas las etapas de un producto, desde que es elaborado hasta su eliminación [3]. Esto considera una jerarquía en el manejo de los residuos que tiene como primera alternativa la prevención en la generación de residuos, luego la reutilización, el reciclaje de los mismos, o de uno o más de sus componentes, y la valorización energética de los residuos, total o parcial, dejando como última alternativa su eliminación (Figura 2), acorde al desarrollo de instrumentos legales, reglamentarios y económicos pertinentes [2]:

- Prevención: acciones o medidas destinadas a evitar o reducir la generación de residuos, disminuir la presencia de sustancias peligrosas o contaminantes en ellos, y minimizar los impactos significativos sobre el medio ambiente o la salud de las personas que estos generen.
- Reutilización: acción consistente en el uso de un material o producto previamente utilizado como insumo en el proceso productivo que le dio origen.

- Reciclaje: acciones de valorización mediante las cuales los residuos son transformados en nuevos productos, excluyendo la valorización energética.
- Valorización Energética: empleo de un residuo como combustible en un proceso productivo.
- Eliminación: acciones que tienen por objeto disponer en forma definitiva los residuos en lugares autorizados para ello, en conformidad a la normativa vigente.
- 

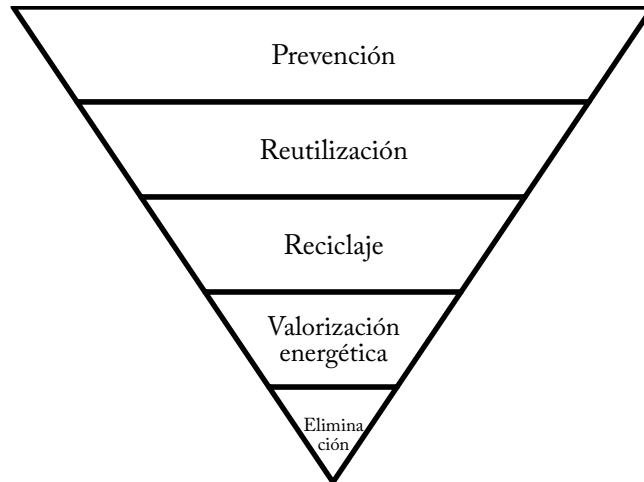


Figura 2: Jerarquía en el manejo de los residuos.

Esta jerarquía se basa en la idea de reducir o eliminar procesos productivos, con el fin de disminuir el uso de recursos naturales. La prevención y reutilización provocan una disminución en el número de ciclos de procesos productivos, ya que al dejar de utilizar un producto o reutilizar otro, no hay necesidad de crear un producto nuevo, por lo que no hay procesos productivos involucrados. Luego, el reciclaje permite aprovechar los residuos como materia prima para nuevos productos, de esta forma se evita la utilización de materia prima virgen y se disminuyen los gastos energéticos y de suministros, en relación a los procesos productivos a partir de materia prima virgen. Sin embargo, es peor opción que la anterior debido que de todas formas se requiere someter las materias a un proceso productivo. Luego, la valorización energética permite obtener energía a partir de los residuos, consiguiendo algún provecho de materiales que de lo contrario no entregarían valor. Sin embargo, esta opción viene luego del reciclaje dado que la relación entre la materia prima y la energía obtenida es menos directa, resultando procesos más complejos y por tanto el ahorro en materias primas es de menor impacto. Por último, la opción de disponer los residuos corresponde a la de menor prioridad, debido a que no se aprovechan los residuos como materia prima en ningún proceso, sin aportar ningún valor a la sociedad. Incluso, se convierte en un problema, debiendo realizarse esfuerzos importantes en el manejo y disposición responsablemente los residuos, para evitar los impactos sociales y ambientales.

La Política de Gestión Integral de Residuos Sólidos no fue suficiente para enfrentar los problemas y desafíos de Chile en estas materias, por lo que en 2016 se crea la primera ley general de residuos en Chile, Ley 20.920, que establece un marco para la gestión de residuos, la responsabilidad extendida del productor y fomento al reciclaje. Ésta ley [2][5]:

- Busca disminuir la generación de residuos, aumentar la valorización, reutilización y reciclaje y proteger la salud humana y la del medio ambiente.
- Obliga a los productores a responsabilizarse del procesamiento y/o valorización del producto.
- Otorga a los Municipios la facultad para establecer convenios con sistemas de gestión y con recicladores de base, la obligación de incorporar la separación en origen en sus ordenanzas municipales, implementar estrategias de comunicación y sensibilización, manejar solicitudes de permiso para instalaciones de almacenamiento y promover la educación ambiental.

Hasta la actualidad la gestión de los residuos sólidos domiciliarios ha sido función de las municipalidades, quienes han debido destinar parte importante de sus presupuestos al manejo de éstos (entre el 15-20% del presupuesto municipal [1]). Esta función ha contemplado la recolección, transporte y disposición de toda los residuos públicos (vial) y domésticos de la comuna, y la de los residuos industriales putrescibles. Adicionalmente, el municipio ha debido hacerse cargo del cálculo de tarifas [5].

Dados los diferentes contextos que presenta cada municipio en cuanto a recursos, espacio, disposición geográfica, número de habitantes, entre otros, la gestión de los residuos se vuelve particular a cada comuna, encontrando lugares donde la gestión tiene dificultades técnicas o económicas. La mayoría de los municipios, especialmente los de mayor tamaño, han contratado los servicios de recolección y disposición final a empresas externas especializadas. A su vez, las comunas pequeñas han debido enfrentar problemas de altos costos y escasez de oferta del sector privado, así como poca capacidad para realizar las acciones y servicios que han sido de su responsabilidad. Esto ha llevado, en muchos casos, a una situación de incumplimiento de la normativa sanitaria y ambiental [11].

Dado este escenario, se crea la nueva ley, que busca liberar a las municipalidades de la tarea que supone la gestión de residuos comunal, y entrega esta responsabilidad a los productores, bajo la premisa de “quien contamina, paga”.

La ley determina seis productos prioritarios, que corresponden a: aceites lubricantes, aparatos eléctricos y electrónicos, baterías, envases y embalajes, neumáticos y pilas. Los productores de productos prioritarios serán responsables de la organización y financiamiento de la gestión de los residuos de los productos prioritarios que comercialicen en el país. Los productores, bajo un sistema de gestión, contratarán a gestores quienes se encargarán de las operaciones de manejo de residuos. En este nuevo escenario, la municipalidad puede optar por participar o no de la gestión de residuos prioritarios como gestora. Sin embargo, aún deberá responsabilizarse de los residuos que no provengan de productos prioritarios [2].

Además, esta ley contempla el Fondo para el Reciclaje que permite a municipalidades o asociaciones financiar iniciativas que fomenten la prevención en la generación de residuos y/o proyectos de valorización de éstos [2].

#### 1.1.4 Definición del caso

Entendiendo la realidad nacional sobre generación y manejo de residuos sólidos se hace evidente la urgencia de mejorar la gestión de residuos en Chile, con el fin de evitar los impactos ambientales y sociales que conlleva una inadecuada gestión.

Hasta el momento las municipalidades han hecho lo posible por enfrentar la problemática, debiendo realizar grandes esfuerzos para cumplir sus objetivos. Debido a la desigualdad de condiciones que presentan las distintas municipalidades del país, los resultados alcanzados han sido dispares. Mientras algunas municipalidades han incluido valorización en el manejo de sus residuos, otras aún no resuelven los problemas básicos de recolección y cobertura.

En este sentido, las zonas rurales han sido las más afectadas, debido principalmente a la falta de conocimientos técnicos para enfrentar adecuadamente la gestión de los residuos. Además de la imposibilidad de alcanzar economías de escala que permitan solventar los gastos mínimos, en los casos en que la población es pequeña. Asimismo, los centros de tratamiento y disposición responsable de residuos se encuentran, regularmente, lejos de estas comunas.

Dado este contexto, se decide estudiar alternativas de gestión de residuos en zonas rurales, que se ajusten a su realidad social y económica, evaluando la factibilidad económica e impactos ambientales asociados. Se elige como caso de estudio la comuna de Cochamó, Región de Los Lagos.

Actualmente la comuna de Cochamó posee graves problemas en el manejo de sus residuos, lo que se evidencia en la existencia de microbasurales, contaminación de los suelos y aguas y el colapso permanente del sistema actual de recolección de residuos. En consecuencia, se propondrá una alternativa de solución ajustada a la realidad comunal.

##### 1.1.4.1 Geografía y población

La comuna de Cochamó se ubica en la Región de los Lagos, provincia de Llanquihue, a 124 km al sur de Puerto Varas y a 142 km al suroeste de la capital regional Puerto Montt (Figura 3). La comuna posee una superficie de 3.911 km<sup>2</sup> y una población de 4.363 habitantes según el Censo de 2002, proyectado por el INE en 4.030 al año 2017 [12]. Dada las características cordilleranas de la comuna, ésta posee una baja densidad poblacional que alcanza 1 hab/km<sup>2</sup>, lo que da cuenta que la población se encuentra muy dispersa en el territorio, rasgo característicos de las zonas aisladas de Chile [13].



Figura 3: Mapa de la comuna de Cochamó [14].

En general, la comuna se caracteriza por contar con dos áreas geográficas muy definidas, que funcionan como dos sistemas diferentes (Figura 4):

- El sector del estuario de Reloncaví que abarca las localidades ubicadas en la ribera del estuario: Cochamó, Río Puelo, Llaguepe y Pocihuén. En este sector se concentra el 64% de la población.
- El sector cordillerano que abarca las localidades ubicadas desde el sur del lago Taguatagua hasta el límite con Argentina, donde se encuentran las localidades de Paso el León, Valle El Frío, el Manso, Llanada Grande y Segundo Corral, representando el 36% de la población comunal.

La capital comunal es la localidad de Río Puelo, que se ubica estratégicamente equidistante de las principales localidades [13].

Esta organización territorial se traduce en una discontinuidad de la trama urbana, dada la baja conexión y comunicación entre los asentamientos de la comuna.



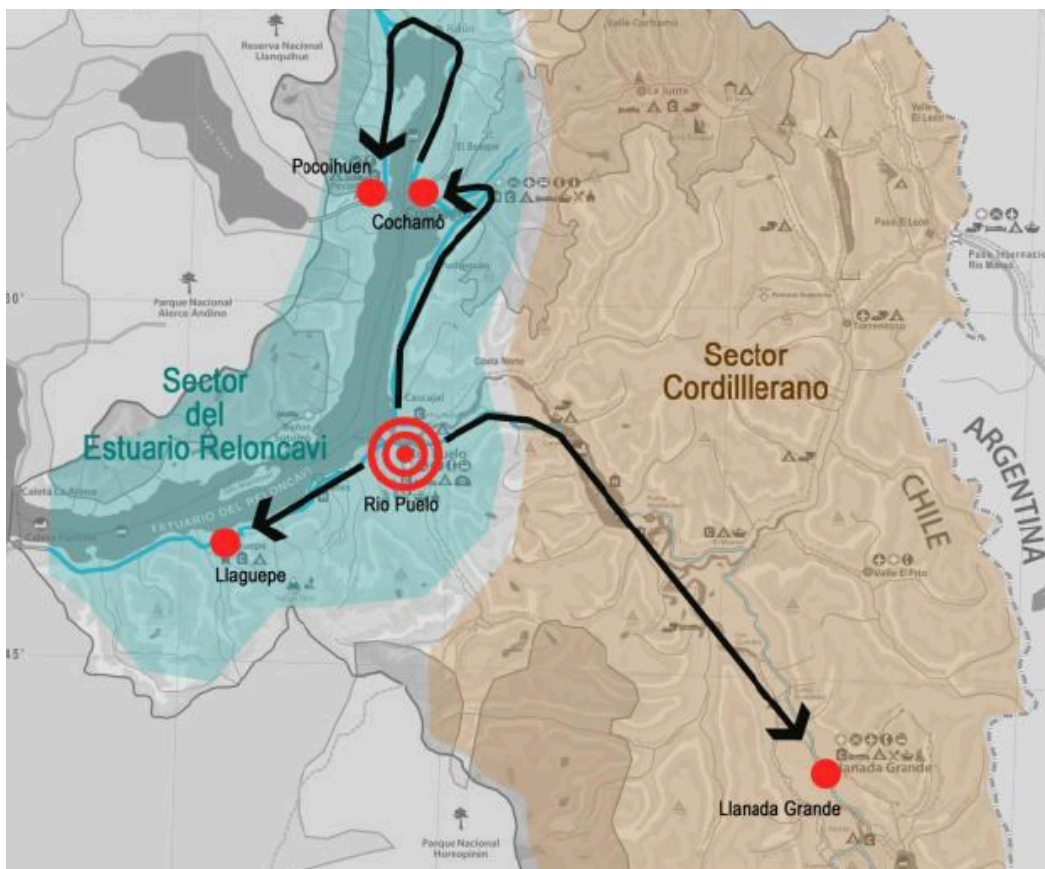


Figura 4: Sectores de la comuna de Cochamó [15].

Debido a la localización comunal, la accesibilidad desde otros centros urbanos como Puerto Montt y Puerto Varas se ve limitada por la geografía y por las condiciones de la infraestructura vial. Actualmente se puede acceder por vía terrestre, marítima y aérea. Las principales vías de acceso terrestre corresponden a las rutas provenientes de Ensenada (desde el norte) y de Caleta Puelche (desde el sur), además de senderos y huellas interiores conectan los distintos sectores de la cordillera. La vía marítima funciona a través de pequeñas lanchas que conectan las distintas localidades ribereñas del estuario del Reloncaví. Para acceder a las localidades del sector cordillerano es necesario atravesar el lago Taguatagua por medio de una barcaza. Además, es posible el transporte en aviones particulares hacia la cordillera [13].

Las localidades principales de la comuna corresponde a Cochamó y Río Puelo, donde se ubican la mayoría de los equipamientos, comercio y servicios municipales.

Los diagnósticos de la realidad comunal, indican que los mayores problemas comunales radican básicamente en el aislamiento, producto de su dispersión geográfica y su localización cordillerana, insuficiente red vial y dificultades de la población para acceder a los servicios de salud y educación.

#### 1.1.4.2 Aspectos socioeconómicos

Una de las características principales de la comuna es su situación de ruralidad, por tanto presentan difíciles condiciones de vida, fundamentalmente por motivos de accesibilidad, traslado, dotación de infraestructura, educación e insumos básicos. La condición de ruralidad, el aislamiento y dispersión geográfica de la comuna, sumado a la escasa formación del capital

humano, han desembocado en una situación de abandono, tanto del sector público como privado [13].

Todas estas condiciones, sumando las necesidades económicas, han llevado a un gran porcentaje de la población a migrar del campo a la ciudad en busca de trabajo remunerado y a muchos jóvenes a abandonar sus estudios prematuramente para entrar al mundo laboral. Asimismo, dada la ausencia de establecimientos educacionales de enseñanza media en la comuna, existe una alta migración de jóvenes luego de cursar octavo básico, trasladándose a centros urbanos para continuar sus estudios. Por estas razones, la población se compone principalmente de niños y adultos, con escasa población joven [13].

Además, de los pocos jóvenes que terminan sus estudios superiores, una minoría vuelve a la comuna a ejercer su profesión. En consecuencia, existe una escasez de capital humano calificado y profesional que entregue soporte a las iniciativas productivas y socioproductivas. Por lo tanto, se requiere de la generación de condiciones necesarias para incrementar la calidad de la educación y atraer capital humano preparado a la comuna [13].

#### *1.1.4.3 Actividad económica*

La actividad económica de la comuna está sustentada en tres pilares: la pesca, la agricultura y el comercio. En cuanto a la pesca, predominan los cultivos de mitílidos y peces. Por su parte, la producción agrícola se caracteriza por ser de subsistencia, a los tradicionales cultivos de papas y ajos se le ha sumado en los últimos años la producción de hortalizas en invernaderos [13].

Además, la actividad turística ha ido tomando fuerza en los últimos años, entendiendo el potencial que tiene en la comuna gracias a su riqueza natural, comprobado mediante la llegada de cientos de turistas en la época de verano. Sin embargo la industria turística aún se encuentra en desarrollo, dada la falta de infraestructura y servicios de apoyo y la escasez de oferta de servicios turísticos, siendo necesario aprovechar y potenciar las ventajas competitivas naturales de la zona. La comuna fue declarada como zona de interés turístico en la cuenca del río Puelo y Cochamó [13].

La estructura económica comunal no ha sufrido cambios significativos, basándose en la explotación de recursos primarios y de escaso valor agregado, que exceptuando el caso de la mitilicultura, se comercian localmente. Esto imposibilita la expansión económica viéndose seriamente limitada por la accesibilidad a los centros de distribución y consumo, impidiendo la diversificación de la base productiva y la dinamización de la economía local [13].

#### *1.1.4.4 La municipalidad*

El municipio de Cochamó es una unidad territorial caracterizada por su ruralidad y alto nivel de aislamiento y dispersión. Estas condiciones, sumadas a la escasez de recurso humano profesional disponible, la han llevado a una situación deficitaria en términos de su estructura, dotación de personal y gestión de los recursos [13].

En la actualidad la municipalidad de Cochamó no cuenta con una estructura organizacional oficial, si no que la orgánica se ha ido creando en la medida en que han surgido las necesidades. Por esta razón los roles no están definidos claramente, ni los alcances de los mismos, existiendo duplicidad de funciones y cargos que ejercen roles claramente contradictorios de acuerdo a los principios de control y probidad municipal [13].

## 1.2 Objetivos

Al reconocer la necesidad de la comuna de Cochamó por mejorar su gestión de residuos y comprendiendo su contexto, se decide realizar este trabajo con el fin de buscar soluciones efectivas a su problema. Además, dado el nuevo escenario en materias de gestión de residuos en el país, debido a la nueva Ley 20.920 sobre la Gestión de Residuos, la Responsabilidad Extendida del Productor y Fomento al Reciclaje, se busca generar propuestas acordes al nuevo contexto nacional y que ayuden a la municipalidad en la toma de decisiones frente a estos cambios.

Por lo tanto, se plantean los siguientes objetivos:

Objetivo general:

Evaluar un plan de gestión de residuos sólidos domiciliarios en la comuna de Cochamó.

Objetivos específicos:

- Revisar distintas alternativas de gestión de residuos.
- Identificar los problemas sobre gestión de residuos en la comuna de Cochamó y reconocer las oportunidades y dificultades para las propuestas de solución, mediante un diagnóstico en terreno.
- Establecer un caso base y limite de batería.
- Proponer alternativas de tratamiento de residuos a partir del análisis del contexto.
- Dimensionar los procesos y flujos en las diferentes alternativas propuestas.
- Proponer una estructural organizacional municipal para la gestión de residuos.
- Evaluar los impactos económicos y ambientales de las distintas alternativas, para luego compararlas.

## 2 Diagnóstico del caso

### 2.1 Residuos sólidos en la comuna de Cochamó

A partir del año 2016 los residuos generados en la comuna son dispuestos en el relleno sanitario La Laja, ubicado en la comuna de Puerto Varas.

Actualmente no existe registro municipal sobre el flujo ni composición de residuos en la comuna. Sólo se cuenta con información entregada por la empresa Interaseo Chile S.A., administradora del relleno sanitario La Laja, sobre toneladas de residuos dispuestos. Esta información registra para Julio de 2016 una disposición de 31,19 toneladas de residuos, en contraste con Febrero de 2017 donde se registran 69,83 toneladas, siendo el mínimo y máximo de toneladas de residuos dispuestas en el último año, respectivamente (Figura 5) (Anexo A). Esta diferencia se explica por la llegada de turistas y por el aumento en el consumo de productos vegetales en época de verano, que duplica el flujo de residuos generados con respecto al invierno.

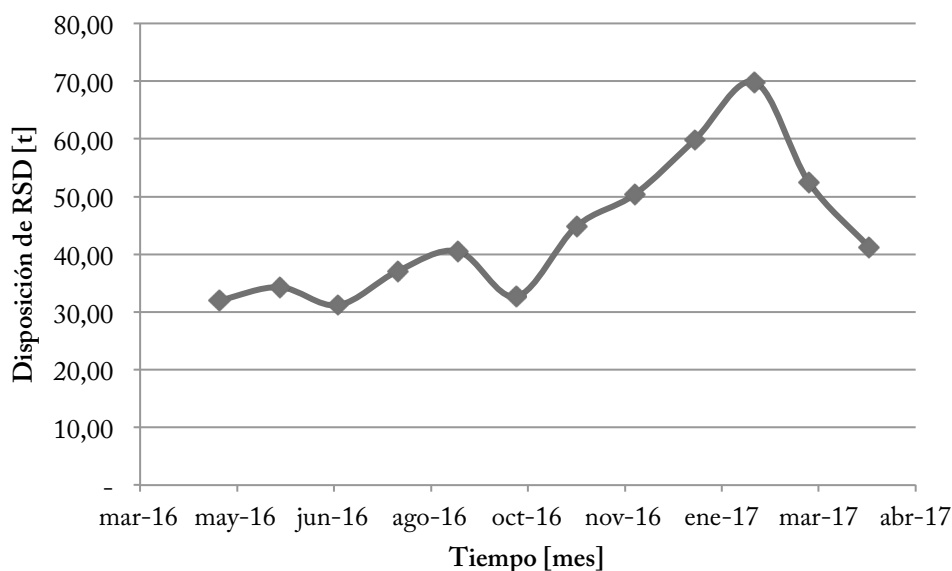


Figura 5: Disposición de RSD de la comuna de Cochamó en relleno sanitario La Laja.

Tomando el registro del último año (mayo-16 a abril-17) se tiene una disposición total anual de 526,36 toneladas de residuos y un promedio de 43,86 toneladas de residuos dispuestos al mes.

Considerando una población actual de 4.030 habitantes en la comuna [12], asumiendo una cobertura de recolección de aproximadamente 80% (Anexo B) y tomando el registro de toneladas dispuestas en el último año, se obtiene una generación de 0,45 kg/hab/día de residuos aproximadamente (Anexo C). Este valor se encuentra dentro de lo esperado, teniendo como referencia para zonas rurales en Chile un rango esperado de 0,3-0,6 kg/hab/día y para zonas urbanas de 0,8-1,4 kg/hab/día [16].

El servicio de recolección y transporte de los residuos es administrado directamente por la municipalidad, la que cuenta con dos camiones de recolección de basura (Figura 6), que son operados por dos choferes y dos recolectores contratados. En el sector de la ribera del estuario, la basura es retirada regularmente dos veces por semana, con excepción del camino hacia Llaguepe, donde es retirada cada dos semanas. En el sector cordillerano la recolección de residuos se realiza una vez al mes. Las localidades de Sotomó y San Luis en la ribera poniente del estuario tienen acceso sólo por vía marítima, por lo que el servicio de recolección no cubre este sector. Así también, las localidades de Paso el León y Valle el Frío en la zona cordillerana tampoco reciben el servicio de recolección de basura, dada la inexistencia de caminos que permitan acceder al lugar en vehículo.

En el sector de mayor concentración de población (entre Río Puelo y Cochamó) se cuenta con alrededor de 45 estaciones de descarte dispersas en el territorio, que consisten en casetas con contenedores para almacenar los residuos (Figura 6). Los habitantes de la zona deben llevar sus residuos a la estación de descarte más cercana para luego ser retirada por el camión recolector.

En el sector cordillerano el servicio no es regular para un día del mes en específico, por lo que los habitantes del sector no saben que día exactamente pasará el camión. Además no hay estaciones de descarte, por lo que deben estar atentos al llamado de carabineros por radio para sacar su basura al camino.



Figura 6: Camión recolector de basura y estación de descarte.

Actualmente la municipalidad no cuenta con un Departamento de Aseo y Ornato, por lo que el servicio de recolección de basura se encuentra en parte a cargo del Departamento de Obras, que se debe preocupar de la infraestructura instalada. La logística de recolección es gestionada por los propios choferes de los camiones de recolección.

El servicio entregado por la municipalidad sólo considera el retiro de residuos domiciliarios y no considera la recolección segregada de residuos reciclables. Los choferes de los camiones deben priorizar en función del espacio en el camión, por lo que residuos de gran tamaño o muy sólidos como electrodomésticos, no son retirados.

## 2.2 Efectos directos observados

Debido a la baja frecuencia y la insuficiente cobertura de retiro de basura en la comuna, los habitantes de ciertos sectores han debido enfrentar solos el problema del manejo de sus residuos, recurriendo al entierro o quema de basura. Esto ha dado origen a la existencia de microbasurales en la comuna (Figura 7).



Figura 7: Microbasural en sector cordillerano.

Asimismo, se observa contaminación a lo largo de la ribera del estuario, principalmente debido a la actividad pesquera, donde se encuentran boyas de plumavit en desuso, pitas, cabos, entre otros. También se encuentra basura en caminos interiores aislados y en zonas constantemente concurridas, como en los muelles del lago Taguatagua.

Hay zonas donde no existen estaciones de descarte o éstas son insuficientes, superando por este motivo la capacidad de las existentes. Además, algunas estaciones de descarte se encuentran dañadas, permitiendo el ingreso de animales que dispersan la basura, lo que da cuenta de la falta de mantención de esta infraestructura por parte de la municipalidad.

Además, en los meses de verano, con la masiva llegada de los turistas, el sistema total colapsa, provocando mayores niveles de contaminación en la zona. A pesar de que la frecuencia de recolección aumenta en esta época, el sistema no da abasto para enfrentar el explosivo aumento demográfico en estos meses.

Debido al contexto de la comuna, naturalmente gran parte de la población realiza acciones que disminuyen los residuos a disponer. Entre estas acciones se encuentra la quema de residuos en las cocinas a leña, principalmente papeles y cartones, y la reutilización de envases plásticos y de vidrio. Además, gran parte de la materia orgánica es utilizada para alimentar a los animales. Sin embargo, estas acciones no tienen relación con el conocimiento y sensibilización de la población sobre las consecuencias que tiene el mal manejo de los residuos en el medioambiente y las personas, si no son más bien prácticas.

A pesar del escaso conocimiento o sensibilidad por parte de la población en temas ambientales, evidenciado en los altos niveles de contaminación del suelo y aguas, en la comuna existen algunas iniciativas sobre manejo responsable de los residuos. Sin embargo, éstas no han podido salir adelante dado que se encuentran desvinculadas de la municipalidad o no cuentan con soporte de la misma. Por ejemplo, en la Escuela Rural Río Puelo se realiza un gran trabajo en materia de educación ambiental, enseñando a sus estudiantes a reutilizar y reciclar residuos. La escuela posee contenedores para diferenciar sus residuos, sin embargo, no es posible realizar un trabajo efectivo de reciclaje sin el soporte de la gestión municipal. También existen personas que por iniciativa propia han comenzado a separar y acumular residuos reciclables en sus casas, sin embargo, dada la inexistencia de un servicio de recolección diferenciada en la comuna, esperan acumular suficiente volumen para poder venderlos en Puerto Montt (Figura 8).

Por su parte, la municipalidad, desde el Departamento de Turismo, realizó un proyecto sobre tratamiento de residuos orgánicos, entregando composteras a todos los centros turísticos de la comuna. Sin embargo, esta iniciativa no fue implementada en su totalidad, pudiendo hoy encontrar las composteras no utilizadas en la parte posterior de la municipalidad, deterioradas por el paso del tiempo. Además, la falta de seguimiento del proyecto no ha permitido conocer su efectivo uso.



Figura 8: Iniciativa de segregación de residuos en el hogar.

## 2.3 Análisis del contexto

Con el fin estudiar el contexto de la comuna de Cochamó, enfocado en el manejo de los residuos, se realiza un análisis FODA (Tabla 2).

Tabla 2: Análisis FODA

FORTALEZAS	DEBILIDADES
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Baja generación de residuos.</li> <li>• Población consciente de la dificultad en el manejo de residuos.</li> <li>• Presencia de estaciones de descarte.</li> <li>• Disponibilidad de terreno.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Segregación y aislamiento poblacional.</li> <li>• Escasez de información sobre residuos en la comuna.</li> <li>• Existencia de microbasurales.</li> <li>• Deficiencia en la gestión municipal.</li> <li>• Escasa disponibilidad de mano de obra calificada.</li> <li>• Escasa sensibilidad de la población por temas medioambientales.</li> <li>• Inexistencia de proyectos de valorización de residuos.</li> <li>• Escaso seguimiento de los proyectos por parte de la municipalidad.</li> </ul>
OPORTUNIDADES	AMENAZAS
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Futura implementación de la Ley REP en la comuna, con posibilidad de que la municipalidad sea gestora.</li> <li>• Financiamiento del Fondo para el Reciclaje, que prioriza sectores vulnerables y aislados.</li> <li>• Impulso de proyectos ambientales producto de la presión de los turistas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumento de la generación de residuos en temporada de verano producto de la llegada de turistas.</li> <li>• Desinterés por parte del sector privado a invertir en proyectos de residuos en la comuna.</li> </ul>

Además, se identifican los principales actores involucrados en la problemática de la gestión de residuos:

- Habitantes de la comuna de Cochamó
- Municipalidad de la comuna de Cochamó
- Choferes de camiones y recolectores de residuos
- Centros turísticos
- Turistas
- Mitimilicultores
- Establecimientos educacionales
- Empresa Interaseo S.A. (administradora de La Laja)
- Ministerio de Medio Ambiente
- Empresas de reciclaje



## 2.4 Identificación del problema

Todas estas situaciones observadas dan cuenta de que el problema principal radica en una deficiencia en la gestión municipal sobre el manejo de residuos. Esto se debe a la inexistencia de un departamento dentro de la municipalidad a cargo de este tema, teniendo actualmente un sistema desorganizado, sin una logística debidamente pensada, que no ha podido resolver las problemáticas existentes. Además, la gestión municipal se ve dificultada por exigencias técnicas que requiere la gestión de residuos en esta zona, debiendo enfrentar los problemas asociados a la dispersión de la población en el territorio y las fluctuaciones en la generación de residuos dada la llegada de turistas en verano. A esto se suma la falta de presupuesto y prioridad que le dan a esta problemática y la escasa disponibilidad de capital humano preparado.

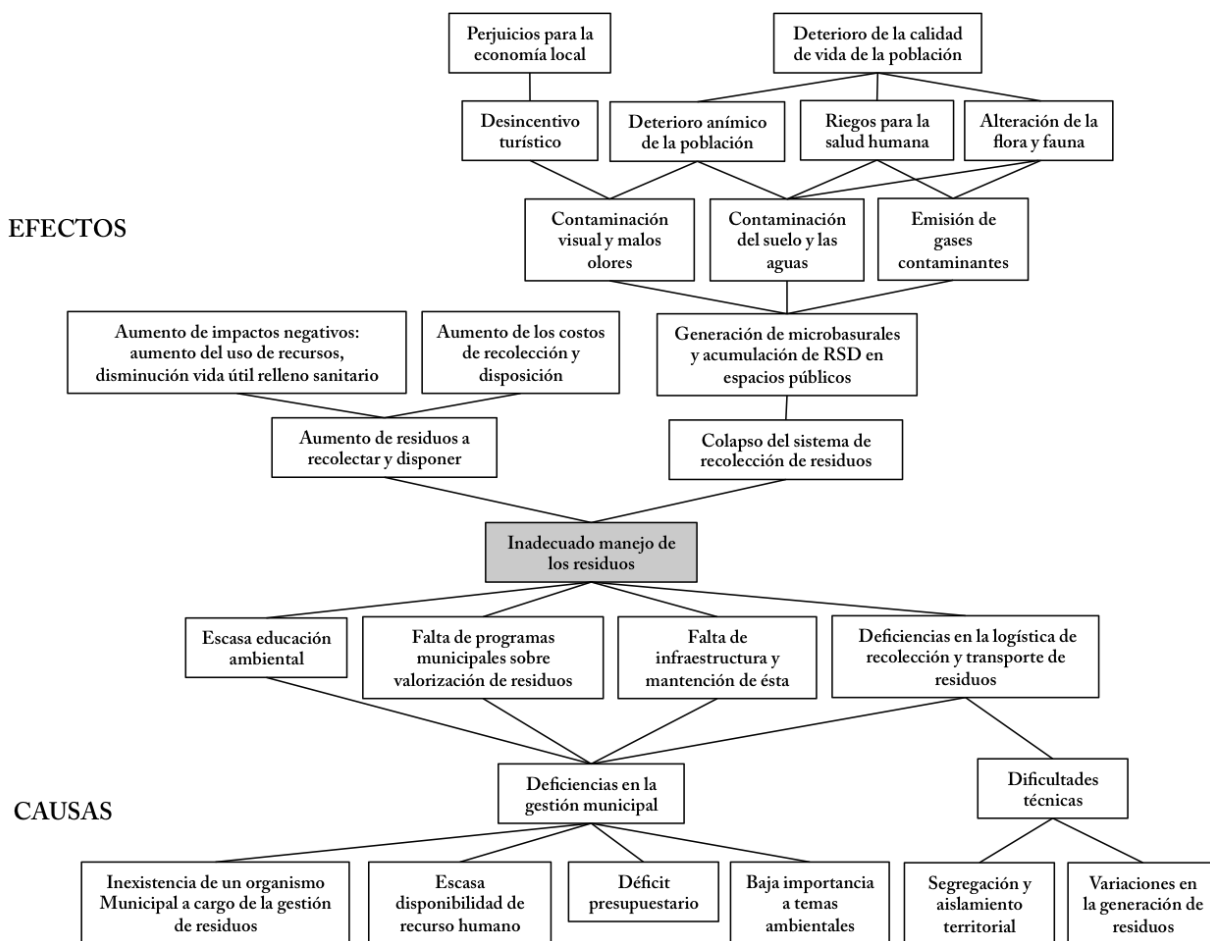


Figura 9: Árbol de Causas-Efectos.

Además, junto a la deficiencia en la gestión municipal se suma la escasa sensibilidad de la población por el cuidado del ambiente, lo que dificulta aún más la tarea. El comportamiento de los habitantes de la comuna demuestra una poca preocupación por los temas ambientales, botando basura al río, mar y suelo. Según el PLADECO de Cochamó: *la gran amenaza para los atractivos turísticos naturales, es la deficiente conciencia ambiental de la comunidad local y agentes externos, quienes generalmente no se preocupan de la basura y otros residuos contaminantes* [13].

Todo lo anterior se esquematiza en el árbol de Causas-Efectos (Figura 9), teniendo como problema principal el manejo irresponsable de los residuos y como causa central las deficiencias en la gestión municipal.

De esto se desprende la importancia de la realización de un plan de gestión de residuos en la comuna que enfrente la problemática central. Con esto se evitarían los problemas sanitarios y ambientales provocados por las malas prácticas en el manejo de los residuos. Además, considerando la importancia del turismo en la zona, se entiende la relevancia de conservar los atractivos turísticos naturales, que depende del manejo responsable de los residuos en la comuna.

Según el PLADECO de Cochamó: *la temática ambiental aflora como un asunto urgente que tratar a nivel institucional y comunal, y establecerse como política local; entendiendo que una de las principales fortalezas comunales radica en su riqueza natural y sus recursos hídricos, los que de ser explotados inapropiadamente pueden afectar el futuro productivo comunal* [13].

Por lo tanto, implementar un correcto sistema de gestión de residuos conllevará beneficios en el ámbito social, ambiental y económico para los habitantes del sector. Esto se puede visualizar los últimos niveles del árbol de Medios-Fines (Figura 10).

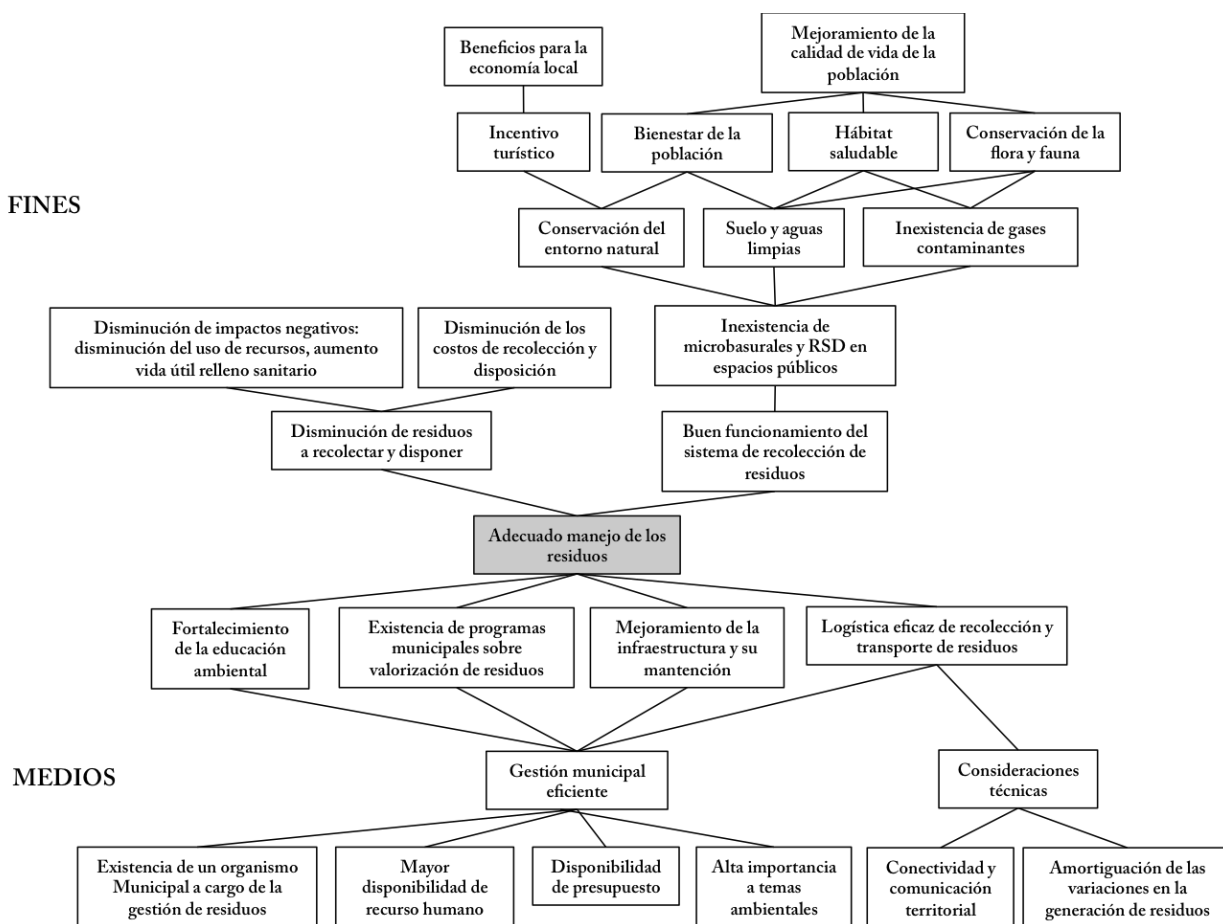


Figura 10: Árbol de Medios-Fines

En el esquema anterior los medios constituyen las vías de solución a los problemas anteriormente planteados y los fines consisten en los objetivos. A partir del árbol de Medios-Fines se pueden proponer acciones concretas para enfrentar las causas de los problemas identificados.

La acción más relevante corresponde a la creación de un organismo municipal a cargo del aseo y ornato de la comuna. Sin esta organización municipal no será posible implementar un plan de gestión de residuos de manera efectiva. Además, es importante destinar mayores recursos económicos a la gestión de residuos, pues queda en evidencia que aún es precaria, considerando la baja frecuencia y cobertura de recolección, pudiendo mejorar con el aumento del presupuesto destinado. Con respecto a la disponibilidad de recurso humano capacitado no es posible plantear acciones factibles en un corto o mediano plazo, pues es una problemática que proviene de la condición de la comuna, que debe ser enfrentada por la municipalidad con inversión a largo plazo.

Todas estas acciones corresponden a cambios en la organización interna de la municipalidad, que serán planteadas como parte de la propuesta, sin embargo éstos no permiten resolver los problemas técnicos presentes en la gestión de residuos actual. Para esto es necesario enfocarse en los medios del siguiente nivel en el árbol de Medios-Fines, los que en conjunto apuntan a la necesidad de crear un plan de gestión integral de residuos.

Por lo tanto, comprendiendo el contexto de la comuna de Cochamó se concluye la importancia de crear un sistema de gestión de residuos, que en primer lugar solucione los problemas básicos de recolección y cobertura de los residuos, y en segundo lugar, que proponga acciones de valorización de los residuos. El diseño de este plan se verá limitado por la complejidad de su gestión y operación, debido a la escasez de capital humano capacitado y de las limitaciones presupuestarias en la comuna. Además, independiente de la solución técnica elegida para enfrentar el problema, ésta deberá estar acompañada de un programa de educación ambiental y de la creación de una entidad municipal encargada del aseo y ornato de la comuna.

### 3 Gestión de residuos sólidos

La gestión de residuos sólidos puede ser definida como la disciplina asociada al control de la generación, almacenamiento, recogida, transferencia y transporte, procesamiento y evacuación de residuos sólidos de una forma que armoniza con los mejores principios de la salud pública, de la economía, de la ingeniería, de la conservación, de la estética y de otras consideraciones ambientales, y que también responde a las expectativas públicas [1].

Las operaciones principales de la gestión de residuos son la recolección, transporte y tratamiento, las que en su conjunto se preocupan de darle un destino final a los residuos.

- Recolección: Retiro de los residuos de los puntos de generación.
- Transporte: Traslado de los residuos recolectados hasta su lugar de destino.
- Tratamiento: Operaciones encaminadas a la eliminación o al aprovechamiento de los residuos.

#### 3.1 Alternativas de tratamiento final de residuos

Los proyectos de valorización de residuos surgen como una alternativa a la eliminación de éstos en rellenos sanitarios. Actualmente, existen variadas tecnologías de valorización para el tratamiento final de los residuos, que consisten en tratamientos termoquímicos o bioquímicos, entre los que se pueden encontrar [17]:

- Incineración:  
Consiste en la oxidación de las materias combustibles contenidas en el residuo. Las sustancias orgánicas de los residuos se queman al alcanzar la temperatura de ignición necesaria y entrar en contacto con oxígeno. Es posible recuperar la energía del proceso, para su utilización en otros procesos [17].
- Gasificación:  
Proceso que convierte los residuos sólidos en un gas con poder calorífico (“syngas”), al reaccionar con agua y/o oxígeno en un ambiente de temperaturas altas (cercano a los 600-1000°C). Éste gas, similar al gas natural, sirve como combustible gaseoso para la generación de calor o potencia. Las tecnologías de Pirolisis o Plasma son variables del proceso de gasificación, en ausencia total de un agente gasificante ( $O_2$  o  $H_2O$ ) [17].
- Digestión anaeróbica:  
Consiste en la descomposición de sustancias orgánicas complejas por microorganismos, en ausencia de oxígeno. De este proceso se obtiene biogás con un contenido de 50-60% de metano [18].
- Compostaje:  
Proceso natural que consiste en la degradación de los residuos orgánicos con la ayuda de microorganismos presentes en la tierra y la materia, obteniéndose como resultado compost. Una variación de este proceso es el vermicompostaje, que utiliza lombrices para ayudar a la degradación de la materia orgánica [17].

- Reciclaje:  
Los materiales reciclables segregados se utilizan como materia prima para la fabricación de nuevos productos. Entre los materiales más comunes de reciclar se encuentra el papel, cartón, plásticos, aluminio, vidrio, entre otros.

En el caso de no realizar valorización de los residuos, éstos deben disponerse en rellenos sanitarios. Actualmente es la manera más segura de disponer de los residuos, dado que poseen tecnologías para el control de lixiviados y de emanaciones de gases. Además, existen los rellenos de seguridad para disponer los residuos peligrosos de la forma más segura. Si bien la disposición es la última opción en la jerarquía en el manejo de los residuos, en la actualidad no es posible valorizar por completo los residuos generados.

### **3.2 Alternativas de recolección y transporte de residuos**

Existen diversas formas de llevar a cabo la logística de recolección y transporte de los residuos. En primer lugar, la recolección puede ser selectiva o combinada, dependiendo si los residuos son separados en el origen o no, respectivamente. Para el primer caso se debe contar con la participación ciudadana.

Luego, la recolección puede realizarse de forma domiciliaria (casa por casa) o desde instalaciones intermedias, como puntos verdes o puntos limpios. Para estos últimos, se requiere mayor compromiso y participación por parte de la población, dado que ésta debe preocuparse de trasladar y depositar sus residuos en estos puntos.

Además, existen otras instalaciones intermedias, que no poseen interacción con la ciudadanía, pero que facilitan las labores de transporte y tratamiento de los residuos, como los centros de acopio, estaciones de transferencia y plantas de separación mecanizada.

Todas estas instalaciones intermedias, permiten acumular temporalmente los residuos, para posteriormente ser transportados al lugar donde serán tratados (relleno sanitario, instalación de reciclaje o instalación de valorización energética según corresponda) o a otra instalación intermedia. Además, en algunas de estas instalaciones se pueden llevar a cabo procesos de pretratamiento de los residuos, entre los que se encuentran la clasificación, separación (por densidad, tamaño o magnética), trituración y compactación.

A continuación se describen las distintas opciones de instalaciones intermedias mencionadas anteriormente [19]:

- Punto verde:  
Es una instalación de tamaño reducido, que cuenta con contenedores en lugares con acceso público (plazas, supermercados, iglesias, condominios), para la entrega de residuos separados por parte de la ciudadanía. No se realiza pretratamiento (Figura 11).



Figura 11: Punto verde

- Punto limpio:  
Es una instalación de mayor tamaño, que cuenta con un espacio físico para contenedores, donde se reciben y acumulan selectivamente residuos entregados por los ciudadanos, para su posterior valorización. En este tipo de lugares se puede realizar pre-tratamiento, además de contar con espacio para educación ambiental (Figura 12).



Figura 12: Punto limpio

- Centro de acopio:  
Es una instalación intermedia, de tamaño medio, de almacenamiento temporal de los residuos donde se reciben y acumulan residuos en forma selectiva, provenientes directamente de los hogares o de puntos verdes y punto limpios, con o sin pre-tratamiento, para su posterior valorización (Figura 13).



Figura 13: Centro de acopio

- Estación de transferencia:

Es una instalación donde se lleva a cabo el transbordo de residuos, desde los vehículos recolectores a vehículos de carga de gran tonelaje, para transportarlos hasta los sitios de destino final. Este proceso permite disminuir los costos en transporte, cuando los residuos deben ser trasladados grandes distancias (Figura 14).



Figura 14: Estación de transferencia

- Planta de separación mecanizada:

En el caso de no realizar recolección selectiva y querer reciclar los materiales recuperables, existe la opción de una planta de separación mecanizada. En ésta se separan los materiales reciclables y materia orgánica del flujo de entrada de residuos mezclados, sin selección preliminar. El proceso consiste en la separación de materia orgánica e inorgánica con la ayuda de un trómel. Los orgánicos son sometidos a compostaje, mientras que los inorgánicos son transportados a una sección de clasificación manual y magnética para la separación de los componentes reciclables. El resto de los residuos son transportados a relleno sanitario [17] (Figura 15).



Figura 15: Planta de separación mecanizada

## 4 Caso Base

La generación de residuos depende directamente de la época del año, encontrando una mayor generación para la época de primavera/verano que para la de otoño/invierno. Esto se debe principalmente a la disminución de materia orgánica generada en la temporada invernal, debido a las difíciles condiciones climáticas que afectan el crecimiento de cultivos y que por lo tanto provocan la disminución de la ingesta de vegetales frescos. Además, en el caso de sectores rurales, se debe al aumento de la quema de residuos producto del uso de la cocina a leña [20]. Asimismo, en el caso de la comuna de Cochamó, el aumento en la generación de residuos en verano también se debe a la llegada de turistas. Estas fluctuaciones son claramente visibles en el registro del último año de la disposición de residuos de la comuna de Cochamó (Figura 5).

Dados estos cambios en la generación de residuos a lo largo del año, se decide trabajar con dos flujos distintos. Para estimar la capacidad instalada del proyecto es necesario considerar el caso más extremo, que corresponde al mes de mayor generación de residuos proyectado en el horizonte de evaluación. De esta forma se asegura el correcto funcionamiento del sistema de gestión durante todos los meses del periodo de duración del proyecto. Por otra parte, para estimar las variables operacionales se utiliza como caso base el promedio de la generación de residuos mensuales de todo el horizonte de evaluación. Con esto, se obtendrán resultados más ajustados al funcionamiento real del sistema de gestión, sin sobredimensionar los efectos.

Por lo tanto, para calcular los dos flujos a trabajar, se consideran: la producción per cápita de residuos (PPC) del mes de febrero pasado, que corresponde al mes de mayor generación de residuos, y el promedio de la PPC de los meses del último año. Estos valores se proyectan al horizonte de evaluación del proyecto, que corresponde a 20 años [21], utilizando una tasa de crecimiento anual de la población de -0,82% [12] (Anexo E) y una tasa de crecimiento anual de la PPC de 2,5% [17] [19]. Con esto se obtienen los flujos a trabajar, que corresponden a la generación de residuos en el mes de febrero en el último año de vida del proyecto y el promedio de la generación de residuos mensual de toda la vida del proyecto. Estos valores se utilizarán para estimar los elementos de inversión y de operación del proyecto, respectivamente (Tabla 3) (Anexo F).

Tabla 3: Caso base

	PPC actual [kg/hab/día]		Flujo [t/mes]
Caso Base Inversión (CBI)	PPC febrero	0,77	<b>130,06</b>
Caso Base Operación (CBO)	PPC promedio	0,45	<b>64,62</b>

Además, como no se tiene información acerca de la composición de los residuos de la comuna, se decide trabajar con la composición de la localidad de Inio, Comuna de Quellón [20], dado que es un contexto similar al caso de estudio. Con las proporciones másicas de los distintos componentes y el flujo de residuos generados en cada zona, se obtiene el flujo generado por tipo de material y por zona, de cada caso base (Tabla 4) (Tabla 5) (Anexo G).



**Tabla 4: Generación por tipo de material y por zona (CBI)**

	Generación de residuos (CBI) [ton/mes]					
	% composición	Zona A	Zona B	Zona C	Zona D	Total
Materia orgánica	43,0%	5,75	30,27	8,88	11,03	55,93
Plásticos	16,3%	2,18	11,47	3,37	4,18	21,20
Papeles y cartones	9,8%	1,32	6,93	2,03	2,53	12,80
Vidrios	4,6%	0,62	3,24	0,95	1,18	6,00
Metales	13,3%	1,78	9,38	2,75	3,42	17,34
RSD	12,9%	1,73	9,09	2,67	3,31	16,80
<b>Total</b>	<b>100,0%</b>	<b>13,36</b>	<b>70,40</b>	<b>20,65</b>	<b>25,66</b>	<b>130,06</b>

**Tabla 5: Generación por tipo de material y por zona (CBO)**

	Generación de residuos (CBO) [ton/mes]					
	% composición	Zona A	Zona B	Zona C	Zona D	Total
Materia orgánica	43,0%	2,86	15,04	4,41	5,48	27,79
Plásticos	16,3%	1,08	5,70	1,67	2,08	10,53
Papeles y cartones	9,8%	0,65	3,44	1,01	1,25	6,36
Vidrios	4,6%	0,31	1,61	0,47	0,59	2,98
Metales	13,3%	0,89	4,66	1,37	1,70	8,61
RSD	12,9%	0,86	4,52	1,33	1,65	8,35
<b>Total</b>	<b>100,0%</b>	<b>6,64</b>	<b>34,98</b>	<b>10,26</b>	<b>12,75</b>	<b>64,62</b>

## 5 Selección de alternativas

Conociendo las diversas alternativas existentes para la gestión de residuos y entendiendo la realidad local, se busca la alternativa que mejor se ajuste al contexto de la comuna. Para esto se realiza una selección de alternativas, descartando las opciones que no parezcan razonables de implementar, dado el contexto local y experiencias anteriores. Con éstas se conforman distintas alternativas de gestión de residuos, para luego evaluarlas y compararlas, con el fin de encontrar la mejor combinación de alternativas de recolección, transporte y tratamiento de residuos para la comuna. En este análisis se consideran las limitaciones presupuestarias, la carencia de mano de obra calificada y la falta de conectividad con las ciudades más próximas, buscando alternativas simples de implementar.

Para plantear las distintas opciones de gestión de residuos es necesario comprender la composición territorial de la comuna, con el fin de considerar las distintas situaciones que se generan.

Dada la composición heterogénea de la trama urbana, la comuna presenta diversas situaciones y condiciones en sus distintos sectores y por lo tanto se pueden encontrar diferentes necesidades en cuanto al servicio de recolección, transporte y tratamiento de los residuos. Por esta razón se divide la comuna en zonas y determina, para cada una, la mejor alternativa de gestión de sus residuos. Estas zonas quedan determinadas por el eje central de la comuna, que corresponde a la zona donde se concentra la mayor parte de la población, y sus tres ramificaciones, definiendo las cuatro zonas a trabajar (Figura 16).

- Zona A: Desde Cochamó (sin considerarlo) hasta Pocolhue. Corresponde al sector más próximo a la salida de los residuos hacia el exterior de la comuna. Habita el 9% de la población.
- Zona B: Desde Río Puelo a Cochamó, considerando ambas localidades. Corresponde al sector donde se concentra la mayor población de la comuna (59%) y donde se encuentran la mayor parte de los equipamientos y servicios.
- Zona C: Desde Río Puelo (sin considerarlo) hasta Llaguete. Esta zona también considera las localidades de Sotomó y San Luis (ladera poniente del estuario), dado que es el punto de conexión entre estas localidades y Río Puelo. Este sector se encuentra lejano al punto de salida de los residuos hacia el exterior de la comuna. Habita el 11% de la población.
- Zona D: Desde el lago Tagua Tagua hasta Segundo Corral. Corresponde al sector cordillerano de la comuna, siendo la zona más alejada y desconectada de la zona principal y de la salida de los residuos hacia el exterior de la comuna. Para acceder a este sector es necesario cruzar en barcaza el lago Tagua Tagua, dificultando su conectividad. La mayor concentración de población se encuentra en la localidad de Llanada Grande. Habita el 21% de la población.

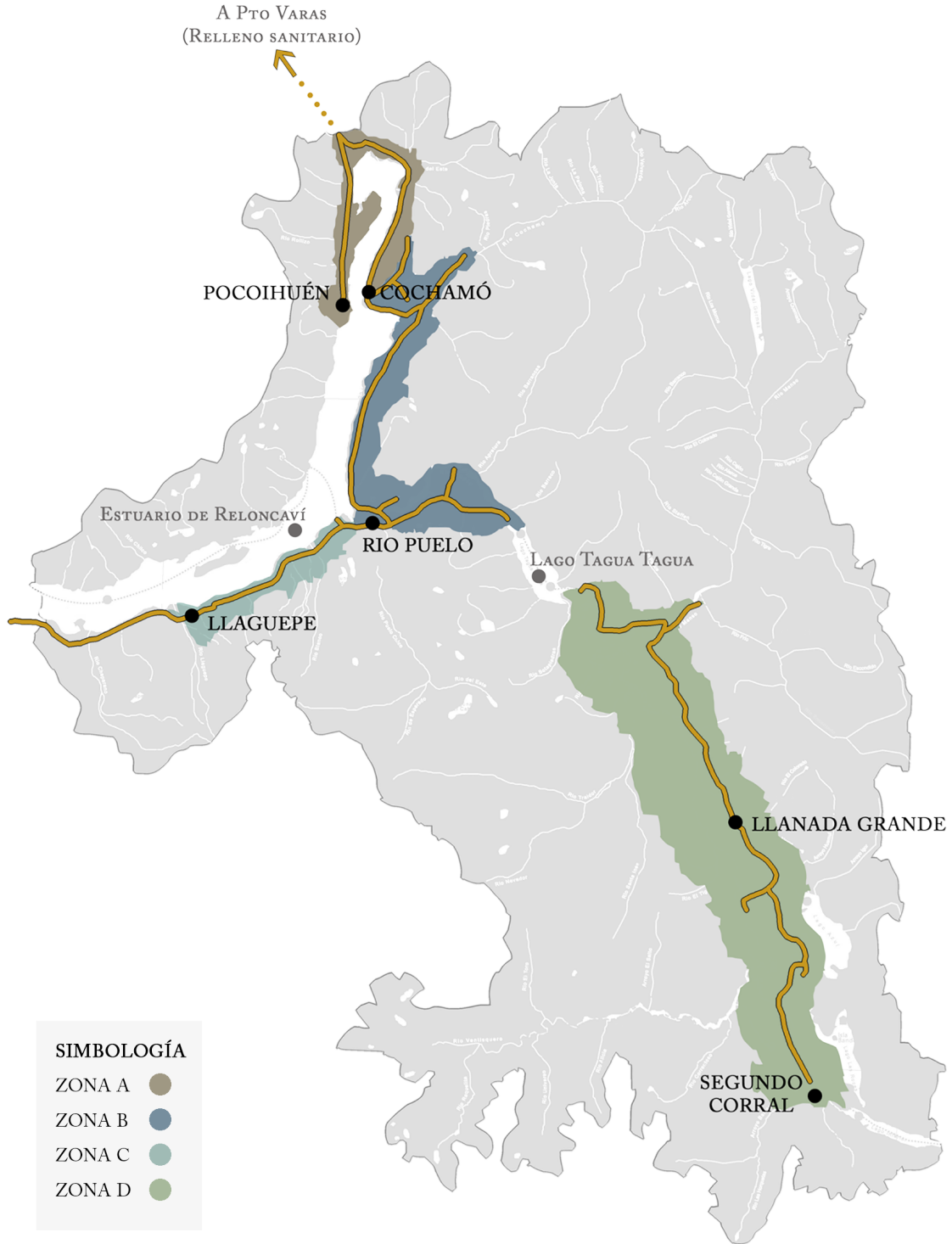


Figura 16: Mapa de la comuna con la división de zonas

## 5.1 Selección de tecnologías de tratamiento de residuos

En primer lugar se tomará por situación base la disposición total de los residuos en relleno sanitario, pues corresponde a la situación actual de la comuna, con el fin de poder compararla con las nuevas propuestas.

A su vez, se busca evaluar opciones de valorización de residuos en la comuna, por lo que se analizan las distintas alternativas existentes.

Considerando la jerarquía en el manejo de los residuos, el reciclaje tiene prioridad por sobre la valorización energética. Por lo tanto, se decide seguir la vía del reciclaje de los materiales recuperables y el compostaje de la materia orgánica. En cuanto al reciclaje, si bien no es factible instalar una planta de reciclaje en la comuna -dada la complejidad técnica de los procesos productivos, la dificultad en el transporte y la alta inversión- es posible realizar procesos de pretratamiento de los materiales reciclables, con el fin de encaminar los residuos a ese destino final. Asimismo, los procesos de compostaje de materia orgánica son perfectamente factibles de realizar en la comuna, dado su simpleza operacional y la disponibilidad de terreno [22].

Siguiendo con la jerarquía en el manejo de los residuos, para los residuos restantes, existen opciones de valorización energética (incineración o gasificación), sin embargo, éstas se descartan dada su complejidad técnica, lejana a la realidad comunal [23]. Es por esto que se decide disponer estos residuos en un relleno sanitario.

Por lo tanto, se escogen dos opciones de tratamiento de residuos: la disposición total de los RSD y el reciclaje de los materiales recuperables. Las demás opciones de tratamiento se descartan, pues se estiman difíciles de implementar en la comuna, por lo que no conforman nuevas alternativas a evaluar.

En la Figura 17 se esquematiza la opción elegida para el tratamiento de residuos que incluye valorización.

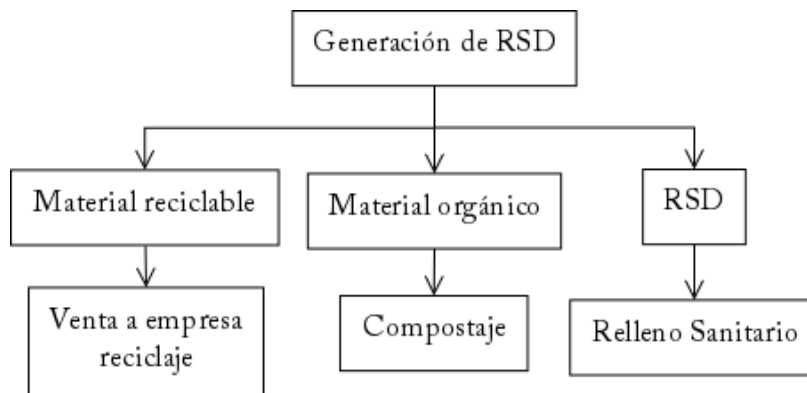


Figura 17: Opción escogida para el tratamiento de residuos

## 5.2 Selección de logística de recolección y transporte

Luego de seleccionado el tratamiento final para los residuos se puede definir la logística de recolección y transporte. Se realiza un árbol de decisiones con todas las alternativas de recolección y transporte de residuos estudiadas, para las opciones de tratamiento escogidas anteriormente (disposición total y reciclaje). En éste se presentan las preguntas que determinan las distintas alternativas. Si el sistema de gestión de residuos incluye valorización, entonces se pregunta: ¿hay separación en el origen? ¿qué tipos de residuos son separados en el origen? ¿cómo se retiran los RSD y los residuos diferenciados? ¿dónde son transportados los RSD y los residuos diferenciados?. De lo contrario, si el sistema no incluye valorización de residuos se pregunta ¿dónde son transportados los RSD?, teniendo como opciones trasladar los residuos a una estación de transferencia o directamente al relleno sanitario (Anexo D).

De este árbol se seleccionan las opciones más pertinentes al caso, conformando las distintas alternativas de proyecto a evaluar en este trabajo.

Siguiendo el árbol de decisiones, si el sistema de gestión de residuos no incluye valorización, se decide transportar los residuos directamente a relleno sanitario, sin tomar la opción de estación de transferencia. Ésta se descarta dada la alta inversión y la complejidad en su logística, siendo poco común en comunas pequeñas [23].

Si el sistema de gestión de residuos incluye valorización, surgen múltiples opciones para su logística.

Entendiendo la realidad de cada zona de la comuna definida, como el número de habitantes y la distancia y conectividad con el núcleo central de la comuna y con la salida de los residuos, se pueden decidir opciones de recolección y transporte para cada una.

Siguiendo con el árbol de decisiones, en primer lugar, se decide realizar recolección selectiva para cada una de las zonas, que corresponde a la separación en el origen de los residuos, descartando la opción de la recolección combinada. Si bien esto requiere el compromiso y colaboración de la comunidad, y por tanto esfuerzos importantes en educar a la población, existen varias razones para optar por la separación en el origen. En primer lugar, los residuos separados desde el origen llegan en mejor estado a las plantas de tratamiento, por lo que la proporción de descarte es menor y los productos resultantes son de mejor calidad [19]. Además, los procesos son más simples en estos casos, por lo que los costos de operación son menores y se disminuye el uso de recursos. Por último, la separación en el origen permite a la sociedad percibir los residuos generados y entender como éstos se relacionan con el estilo de vida llevado, además de comprender la dificultad que supone su manejo. Conociendo los impactos sociales y ambientales que generan los residuos y teniendo la evidencia directa en cada uno de los hogares, se espera que cada individuo comprenda la importancia de hacerse cargo de sus propias acciones, participando entonces de la cadena del manejo de los residuos.

Siguiendo con la opción de separación en el origen en el árbol de decisiones, se eligen los tipos de residuos a separar. Se decide separar los residuos reciclables en todas las zonas y los orgánicos sólo en el sector principal (Zona B). Esto se debe a que en las zonas más alejadas no se generan muchos residuos orgánicos, dado que son en su mayoría eliminados en el lugar de origen, ya sea por el uso de éstos como alimento para animales o por el entierro. Por su parte, en la zona principal de la comuna, las agrupaciones habitacionales se encuentran más concentradas, sin tanta disponibilidad de terreno, lo que dificulta la eliminación de la materia orgánica en el lugar.

Por último, se decide retirar los residuos de dos formas distintas, conformando dos alternativas de recolección y transporte de los residuos. Para una alternativa se elige realizar la recogida de los residuos en distintos eventos para cada una de las zonas, lo que significa que los RSD y los residuos reciclables se retiran por separado, en distintos camiones. La otra alternativa corresponde a la recogida en distintos eventos para las zonas A y B, y en un mismo evento para las zonas D y C. Esto se debe a que las zonas D y C corresponden a los sectores más alejados del sector principal y del punto de salida de los residuos de la comuna, y además la generación de residuos es mucho menor a la del sector principal, por lo que realizar viajes a esos sectores significan altos costos en transporte y menor eficiencia de la capacidad del camión. Es por esto, que al decidir realizar la recolección en un mismo evento (reciclables + RSD) se busca aprovechar el viaje realizado y la capacidad del camión.

En todos los casos se utilizarán las estaciones de descarte existentes, que corresponden a puntos verdes (Figura 11), donde los habitantes de la comuna entregan sus residuos. En el caso de las alternativas que consideran el pretratamiento de reciclables, las estaciones de descarte tendrán contenedores con diferenciación por tipo de material reciclado. Sin embargo, sólo existen estaciones de descarte en la zona principal (Zona B), por lo que en los sectores que no existen se tendrá que realizar recogida a domicilio.

Además, en todos los casos se decide instalar un centro de acopio en la localidad de Cochamó (Zona B), siendo la última localidad principal antes de la salida de los residuos de la comuna. En este centro de acopio se recibirán los residuos reciclables de la comuna, donde serán clasificados, compactados y enfardados, para luego venderlos. También, sólo para el caso de recolección en distintos eventos para todas las zonas, se decide instalar un centro de acopio en la Zona D, en particular en la localidad de Llanada Grande, con el fin de realizar una gestión de residuos a nivel local, y reducir los volúmenes de transporte y por tanto el número de viajes a realizar.

Se descarta la opción de instalar puntos limpios, dado que en la comuna muchos habitantes no poseen vehículos para transportarse, por lo que no sería factible de implementar.

### **5.3 Descripción de alternativas**

Con las decisiones tomadas, se definen las distintas alternativas a evaluar que se describen a continuación:

### 5.3.1 Alternativa 1:

El sistema de gestión de residuos no incluye valorización, por lo que todos los residuos son transportados directamente al relleno sanitario La Laja. Esta alternativa contempla el mejoramiento del sistema actual, considerando cambios en la administración municipal y logística de transporte. Es necesario realizar esta optimización de la situación base para luego poder comparar todas las alternativas, y no sobre estimar los beneficios de las demás.

El sistema de recolección de RSD consiste en tres viajes distintos: hacia la zona A y B conjuntamente, hacia la zona C y hacia la zona D. La recolección de RSD de la zona A y B se realiza en conjunto debido a que la zona A queda en el camino hacia el relleno sanitario (Figura 18).

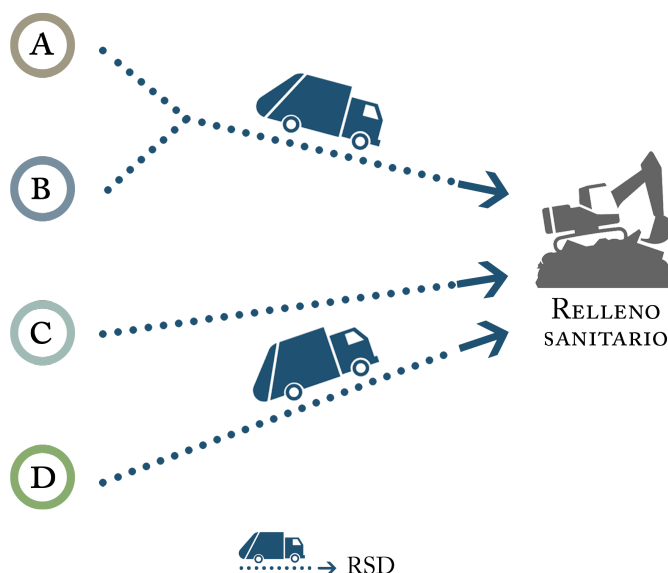


Figura 18: Logística de recolección y transporte de residuos Alternativa 1

### 5.3.2 Alternativa 2:

Este proyecto considera la instalación de centros de acopio en Cochamó y Llanada Grande con el fin de realizar pretratamiento de los residuos y venderlos a plantas de reciclaje para ser valorizados. La logística de gestión se compone de las siguientes etapas (Figura 19):

- **Recolección:** Se realiza la separación en el origen de los residuos reciclables en toda la comuna y de la materia orgánica solamente en los pueblos de Río Puelo y Cochamó (zona B). Los RSD y los residuos diferenciados se retiran por separado en distintos eventos (distintos camiones).
- **Transporte:** Los residuos diferenciados de la comuna son transportados al centro de acopio ubicado en Cochamó, con excepción de los residuos generados en el sector cordillerano (zona D), que serán transportados al centro de acopio de Llanada Grande. Por su parte, los RSD son transportados directamente al relleno sanitario La Laja.

- Tratamiento: En los centros de acopio se realiza el acondicionamiento de los reciclables, que consiste en una clasificación más rigurosa, compactación, enfardamiento y almacenamiento. Los reciclables del Centro de Acopio de Llanada Grande luego son transportados al Centro de Acopio de Cochamó. Además, en el Centro de acopio de Cochamó, se realiza el compostaje de los residuos orgánicos recolectados. Los reciclables enfardados luego son vendidos a empresas de reciclaje.

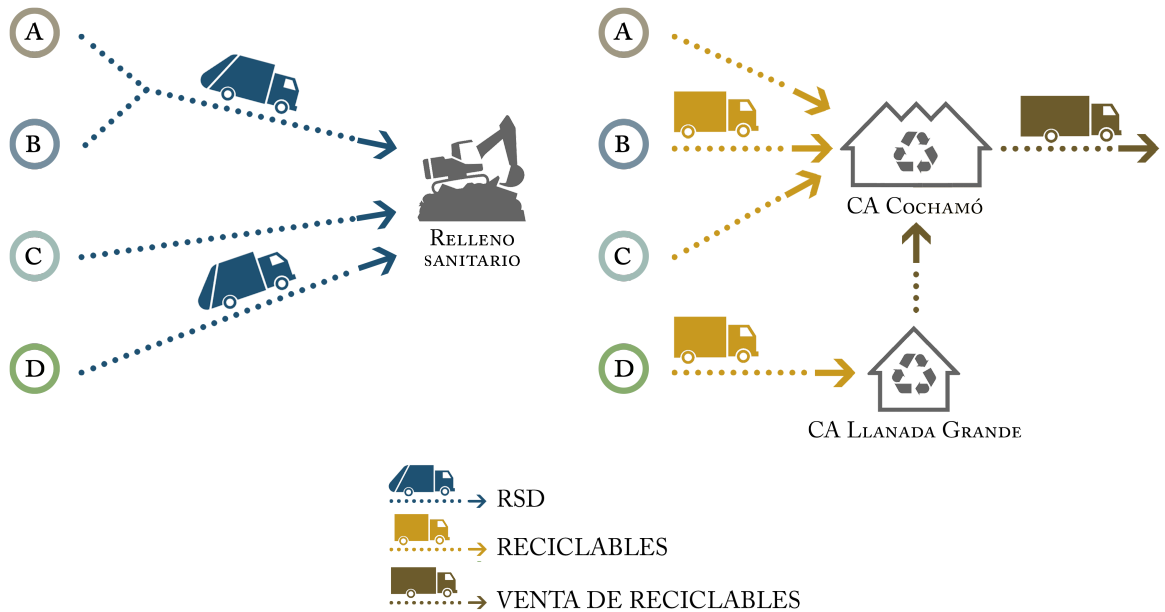


Figura 19: Logística de recolección y transporte de residuos Alternativa 2

### 5.3.3 Alternativa 3:

Este proyecto considera la instalación de un centro de acopio en Cochamó, con el fin de realizar pretratamiento de los residuos y venderlos a plantas de reciclaje para ser valorizados. La logística de gestión se compone de las siguientes etapas (Figura 20):

- Recolección: Se realiza la separación en el origen de los residuos reciclables en toda la comuna y de la materia orgánica solamente en los pueblos de Río Puelo y Cochamó (zona B). En el sector de Pocihuen (zona A) y en el de Río Puelo y Cochamó (zona B) los RSD y los residuos diferenciados se retiran por separado en distintos eventos. Mientras que en el sector de Llaguepe (zona C) y en el sector cordillerano (zona D) los RSD y los residuos diferenciados se retiran en un solo evento, en un mismo camión.
- Transporte: Todos los residuos diferenciados de la comuna son transportados al centro de acopio ubicado en Cochamó. Por su parte, los RSD son transportados directamente al relleno sanitario La Laja. Los RSD provenientes del sector cordillerano y Llaguepe (Zona C y D) deben ser descargados a los camiones de RSD, para luego ser transportados al relleno sanitario La Laja.



- Tratamiento: En el centro de acopio se realiza el acondicionamiento de los reciclables, que consiste en una clasificación más rigurosa, compactación, enfardamiento y almacenamiento. Además, se realiza el compostaje de los residuos orgánicos recolectados.

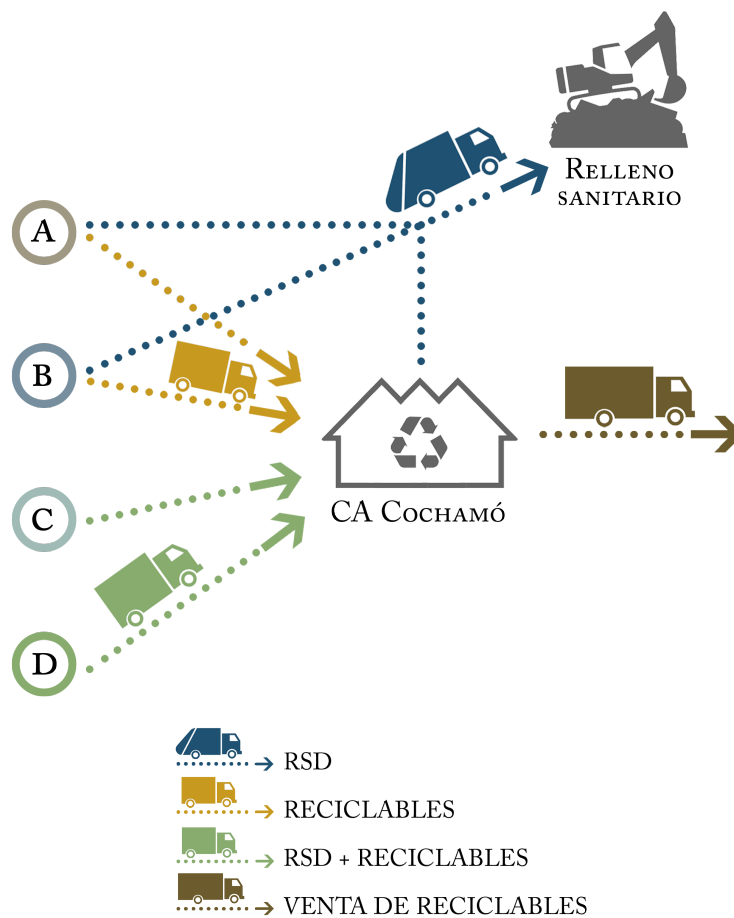


Figura 20: Logística de recolección y transporte de residuos Alternativa 3

## 6 Proceso de gestión de residuos

Para la alternativa 1, el proceso de gestión de residuos consiste simplemente en la recolección, transporte y disposición de los residuos. La entrada y salida de este proceso corresponden al flujo de RSD generados y dispuestos, respectivamente. Se espera que ambos flujos sean iguales, logrando el tratamiento total de los residuos, sin pérdidas en forma de microbasurales o contaminación dispersa en la comuna.

Para las alternativas 2 y 3, que consideran la valorización de los residuos, el proceso de gestión de residuos comienza con la generación de los RSD en los hogares, hasta la disposición de RSD en rellenos sanitarios, la fabricación de compost para uso comunal y la venta de materiales reciclables a empresas de reciclaje (Figura 21).

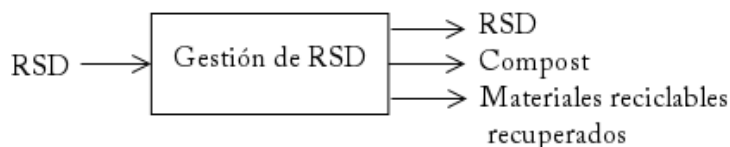


Figura 21: Diagrama de entradas y salidas

El flujo de salida de reciclables a la venta, de compost producido y de RSD dispuestos en relleno sanitario dependerán del porcentaje de separación en el origen de los materiales recuperables. Dado que este valor está sujeto al comportamiento de la población de la comuna, es difícil fijar un supuesto, por lo que se decide variar el porcentaje máximo de materiales reciclados en un rango entre 0-60%. Esto permitirá obtener distintos resultados que dependen del grado de separación de residuos en la comuna. El máximo establecido para este rango corresponde a la tasa de reciclaje de Austria y Alemania [24], países líderes en estos temas, considerando que porcentajes más altos a este valor se escapan de la realidad. Además, se considera un descarte del 3% de RSD en el proceso. Con esto quedan definidos los distintos flujos del proceso variando la salida en el rango establecido (Figura 22).

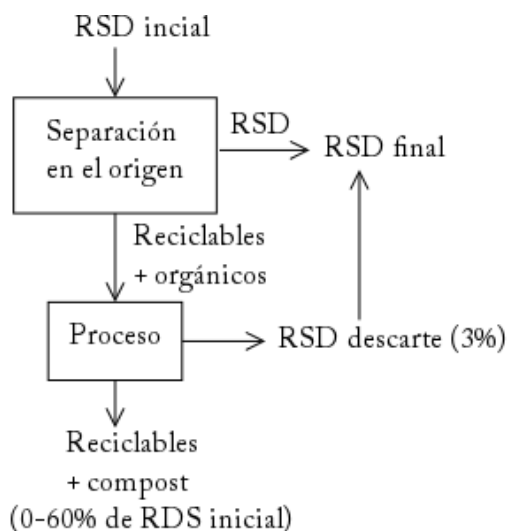


Figura 22: Diagrama de flujo simple

El proceso detallado de la gestión de residuos se esquematiza en el siguiente diagrama de bloques (Figura 23). Lo que varía entre las alternativas 2 y 3 es el sistema de recolección y transporte.

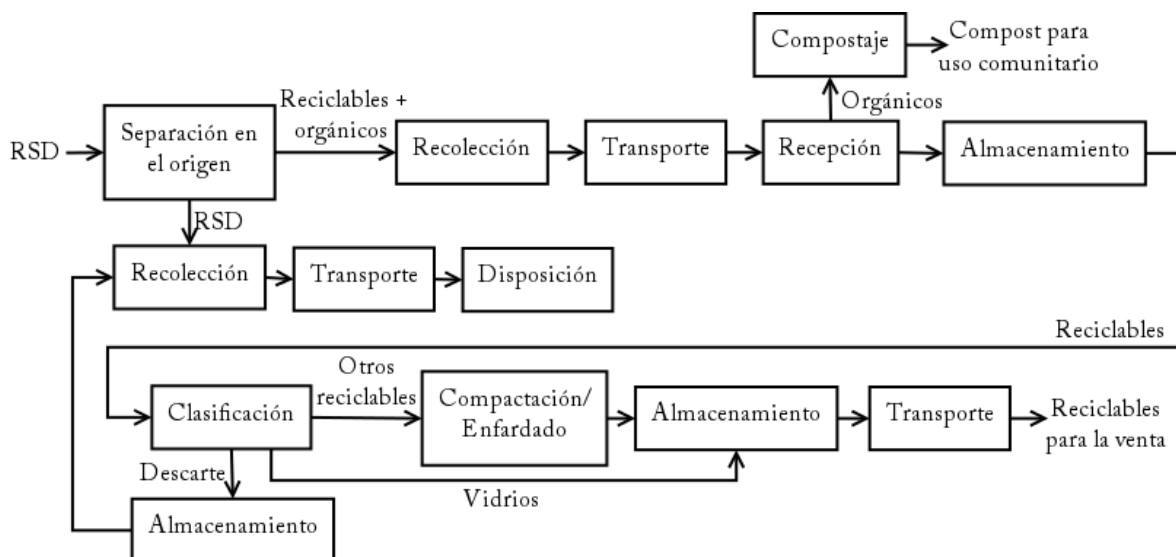


Figura 23: Diagrama de bloques del proceso

El flujo de reciclables que se tratan en el centro de acopio, se compone de plásticos, papeles y cartones, vidrios y metales. Estos residuos son subdivididos por tipo de material específico y por color, según las especificaciones de las empresas de reciclaje (Tabla 6).

Tabla 6: División de materiales para la venta

División	Subdivisión
Plásticos	PET color (1)
	PET transparente (1)
	HDPE (2)
	LDPE (4)
	PP (5)
	PS (6)
Papeles y cartones	Tetra Pak
	Papel mixto
	Cartón
Vidrio	Vidrio de color
	Vidrio transparente
Metales	Aluminio
	Otros metales

## 7 Resultados

Para el diseño del proceso de gestión de residuos, es necesario dimensionar su equipamiento e infraestructura y los flujos de residuos generados, tratados y dispuestos. Para obtener estos valores se ha creado una heurística, que permite obtener resultados mediante resoluciones matemáticas simples y supuestos lógicos, basados en la experiencia.

La heurística planteada consiste, en primer lugar, en estimar la generación de residuos por zona y definir la capacidad de los camiones recolectores. A partir de esto, se calculan los flujos de entrada y salida de residuos de los puntos de recolección y de los centros de acopio. Esto se realiza bajo el criterio de que los camiones realizan viajes en la medida en que se cargue el camión procurando utilizar su máxima capacidad, sin superarla, pero asegurándose de llevar todo lo acumulado en esa zona (si la acumulación en la zona hasta el día anterior más la generación de residuos del día actual supera la capacidad del camión, entonces se debe realizar el viaje hoy en la mañana). Con esto, se pueden obtener las capacidades del equipamiento e infraestructura, que queda determinada por el máximo volumen de residuos acumulados. Además, se obtiene la logística de transporte, a partir el número de viajes realizados por los camiones y la eficiencia de su capacidad.

Esta heurística busca, por tanto, utilizar la capacidad de transporte cerca de su máximo, para evitar capacidad ociosa, pero cubriendo las necesidades de la población (Anexo H).

### 7.1 Dimensionamiento de equipamiento e infraestructura

Para dimensionar el equipamiento e infraestructura del proyecto para cada alternativa, se utiliza el Caso Base Inversión, que se refiere al flujo de residuos del mes de mayor generación en el último año de vida del proyecto. Además, se asume el máximo en la separación de residuos en el origen. Esto con el fin de asegurar que la capacidad instalada del proyecto sea suficiente en el caso más extremo.

Se calcula para cada zona la generación de residuos, considerando la proporción de habitantes por zona y el Caso Base Inversión. Además, se considera el 60% de los residuos a reciclar para las alternativas 2 y 3, lo que determina los flujos de material reciclable a tratar y los RSD a disponer. El caso 0% de residuos a reciclar corresponde a la alternativa 1 (Tabla 7) (Anexo I.1).

Tabla 7: Generación de RSD y reciclables por zona (CBI)

Flujo de residuos [t/mes]					
	Zona A	Zona B	Zona C	Zona D	Total
0% a reciclaje					
RSD	13,36	70,40	20,65	25,66	130,06
60% a reciclaje					
Reciclables (+ orgánicos en B)	5,41	56,30	8,36	10,39	80,45
RSD	7,95	14,10	12,29	15,27	49,61

Luego, se definen las capacidades de los camiones recolectores (Tabla 8). Para los camiones de RSD, reciclables y RSD+reciclables, se supone una capacidad volumétrica de 15 m<sup>3</sup>, con una eficiencia máxima de 80%. Para las salidas de los Centros de Acopio Cochamó y Llanada Grande se utilizan las capacidades máscas de los camiones, pues esto limita la carga. Esto se debe a que los residuos se encuentran compactados en forma de fardos, siendo más densos, por lo que no es posible completar la capacidad volumétrica máxima sin sobrepasar la capacidad máscica máxima. En estos casos se utiliza la eficiencia máxima de la capacidad máscica.

Tabla 8: Capacidad camiones

Tipo camión	Capacidad volumétrica efectiva [m <sup>3</sup> ]	Capacidad máscica [t]
Camión RSD (compactador)	12	-
Camión reciclables	12	3,7
Camión RSD + reciclables	12	-
Camión venta de reciclables (fardos)	-	7

### 7.1.1 Alternativa 1

En este caso no hay valorización de los residuos, por lo que el equipamiento necesario corresponde únicamente a la instalación de contenedores para el almacenamiento de RSD. A partir de la logística de recolección (Figura 18), la generación de residuos en cada zona y la capacidad del camión recolector de RSD, se obtienen las capacidades volumétricas de los contenedores necesarias para almacenar los residuos generados (Tabla 9) (Anexo J.1).

Tabla 9: Capacidad volumétrica contenedores (Alternativa 1)

Zona	A	B	C	D	Total
RSD [m <sup>3</sup> ]	4,37	23,03	27,41	27,41	82,22

A partir del volumen total calculado, y asumiendo un tamaño de 240 litros para cada contenedor, se calculan 343 contenedores necesarios para almacenar los residuos generados. Considerando un factor de seguridad del 10% y redondeando se obtiene que son necesarios 380 contenedores en la comuna para almacenar los RSD generados (Anexo J.1).

### 7.1.2 Alternativa 2

En este caso si hay pretratamiento de los materiales reciclables, por lo que la infraestructura y equipamiento consiste en dos centros de acopio y contenedores de RSD y reciclables.

La capacidad de los contenedores se calcula al igual que en el caso anterior, pero ahora considerando la generación de dos flujos distintos (RSD y reciclables) y la capacidad del camión de RSD y del camión de reciclables (Tabla 10) (Anexo K.1).

Tabla 10: Capacidad volumétrica contenedores (Alternativa 2)

Zona	A	B	C	D	Total
RSD [m <sup>3</sup> ]	9,88	17,52	27,41	27,41	82,22
Reciclables [m <sup>3</sup> ]	12,00	12,00	12,00	12,00	48,00

A partir del volumen total calculado, y asumiendo un tamaño de 240 litros para cada contenedor, se calculan 343 contenedores necesarios para almacenar los RSD y 200 para los reciclables, dando un total de 543. Considerando un factor de seguridad del 10% y redondeando se obtiene que son necesarios 600 contenedores en la comuna para almacenar los RSD y materiales reciclables generados (Anexo K.1).

Para estimar las dimensiones de los centros de acopio, se calculan las acumulaciones de reciclables y de residuos descartados sin compactar. Se escoge el máximo posible acumulado en un año para establecer las capacidades de almacenamiento de los centros de acopio (Anexo K.2.1) (Anexo K.2.2).

Para el caso del Centro de Acopio Cochamó, se calcula además un área de compostaje. Se considera un tiempo de residencia de la materia orgánica de seis meses para la elaboración de compost maduro [25]. Además, se utiliza la generación de residuos orgánicos en la zona B, calculado a partir del Caso Base Operación. Se decide trabajar con este caso base debido al largo tiempo de residencia de la materia orgánica, siendo más realista utilizar una entrada promedio de la materia orgánica a la pila de compostaje, con el fin de no sobre dimensionar la acumulación. Luego, considerando una altura y ancho comunes para una pila de compostaje, se calcula su largo [25] (Anexo K.2.3).

Con esto se dimensionan los principales componentes del Centro de Acopio Cochamó (Tabla 11).

Tabla 11: Dimensiones componentes Centro Acopio Cochamó

Capacidad reciclables Centro de Acopio	90,7	[m <sup>3</sup> ]
Plásticos	45,1	[m <sup>3</sup> ]
Papeles y cartones	22,1	[m <sup>3</sup> ]
Vidrios	4,2	[m <sup>3</sup> ]
Metales	19,2	[m <sup>3</sup> ]
Capacidad descarte Centro de Acopio	2,2	[m <sup>3</sup> ]
Superficie compostaje	93,0	[m <sup>2</sup> ]
Largo	31,0	[m]
Ancho	3,00	[m]
Alto	1,50	[m]

La acumulación de reciclables promedio en el centro de acopio es de 25,1 m<sup>3</sup> de reciclables sin compactar, lo que muestra que normalmente el volumen de los reciclables acumulados en el centro de acopio es bastante menor a la capacidad instalada (Anexo K.2.1).

A partir de las dimensiones del almacenamiento de residuos y de la pila de compostaje, se diseña el centro de acopio y se estiman sus dimensiones. Se obtiene un área de 616 m<sup>2</sup> para el terreno y de 280 m<sup>2</sup> para el galpón. En el siguiente diagrama se puede observar la organización espacial de los distintos programas que componen el centro de acopio, considerando la superficie calculada para cada uno de ellos (Figura 24) (Anexo K.2.4).

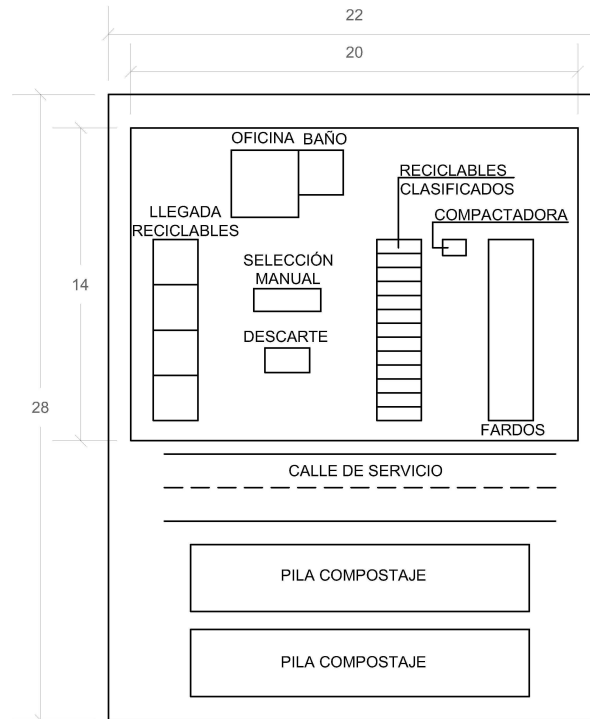


Figura 24: Diagrama espacial CA Cochamó Alternativa 2 (dimensiones en m)

Para el caso del Centro de Acopio Llanada Grande también se obtienen las capacidades de almacenamiento a partir de las acumulaciones de residuos calculadas (Tabla 12) (Anexo K.3.1) (Anexo K.3.2).

Tabla 12: Dimensiones componentes Centro de Acopio Llanada Grande

Capacidad reciclables Centro de Acopio	42,8	[m <sup>3</sup> ]
Plásticos	21,3	[m <sup>3</sup> ]
Papeles y cartones	10,5	[m <sup>3</sup> ]
Vidrios	2,0	[m <sup>3</sup> ]
Metales	9,1	[m <sup>3</sup> ]
Capacidad descarte Centro de Acopio	0,7	[m <sup>3</sup> ]

Con estas dimensiones, se diseña el Centro de Acopio Llanada Grande. Con esto se obtiene un área de 288 m<sup>2</sup> para el terreno y de 160 m<sup>2</sup> para el galpón. En el siguiente organigrama se puede observar la organización espacial de los distintos programas que componen el centro de acopio, considerando la superficie calculada para cada uno de ellos (Figura 25) (Anexo K.3.3).

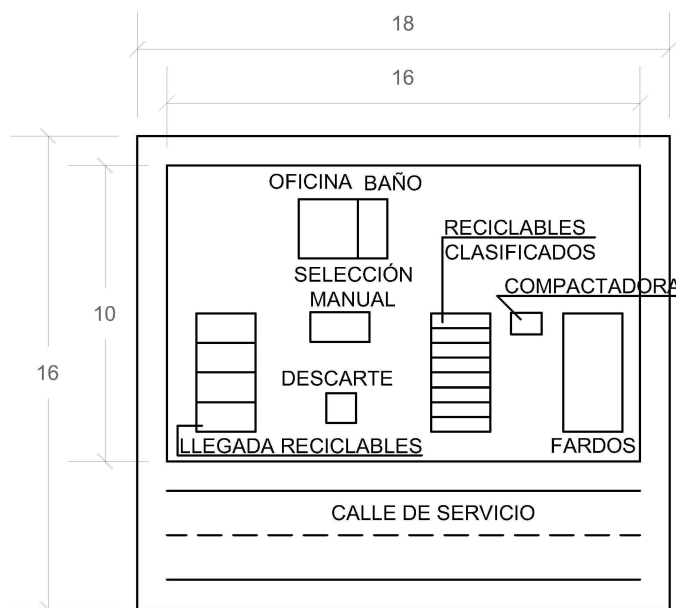


Figura 25: Diagrama espacial CA Llanada Grande Alternativa 2 (dimensiones en m)

### 7.1.3 Alternativa 3

En esta alternativa también se considera el pretratamiento de los materiales reciclables, pero en este caso la infraestructura y equipamiento consiste en un centro de acopio y contenedores de RSD y reciclables.

La capacidad de los contenedores se calcula al igual que en el caso anterior, pero ahora considerando la capacidad del camión de RSD, del camión de reciclables y del camión de RSD+reciclables (Tabla 13) (Anexo L.1).

Tabla 13: Capacidad volumétrica contenedores Alternativa 3

	A	B	C	D	Total
RSD [m <sup>3</sup> ]	5,33	9,45	7,14	7,14	29,07
Reciclables [m <sup>3</sup> ]	12,00	12,00	4,86	4,86	33,72

A partir del volumen total calculado, y asumiendo un tamaño de 240 litros para cada contenedor, se calculan 122 contenedores necesarios para almacenar los RSD y 141 para los reciclables, dando un total de 261. Considerando un factor de seguridad del 10% y redondeando se obtiene que son necesarios 290 contenedores en la comuna para almacenar los RSD y materiales reciclables generados (Anexo L.1).

Para estimar las dimensiones del centro de acopio, se calculan las acumulaciones (sin compactar) de reciclables, de residuos descartados y de RSD proveniente de las zonas C y D. Se escoge el máximo posible acumulado para establecer las capacidades de almacenamiento de los centros de acopio (Anexo L.2.1) (Anexo L.2.2) (Anexo L.2.3).

Además se calcula un área de compostaje, al igual que en la alternativa anterior (Anexo L.2.4). Con esto se dimensionan los principales componentes del Centro de Acopio Cochamó (Tabla 14).



Tabla 14: Dimensiones componentes Centro de Acopio Cochamó

Capacidad reciclables Centro de Acopio	81,7	[m <sup>3</sup> ]
Plásticos	40,7	[m <sup>3</sup> ]
Papeles y cartones	20,0	[m <sup>3</sup> ]
Vidrios	3,8	[m <sup>3</sup> ]
Metales	17,3	[m <sup>3</sup> ]
Capacidad RSD	19,5	[m <sup>3</sup> ]
Capacidad descarte CA	1,5	[m <sup>3</sup> ]
Capacidad RSD zona C y D	18,1	[m <sup>3</sup> ]
Superficie compostaje	93,0	[m <sup>2</sup> ]
Largo	31,0	[m]
Ancho	3,00	[m]
Alto	1,50	[m]

La acumulación de reciclables promedio en el centro de acopio es de 26,1 m<sup>3</sup> de reciclables sin compactar, lo que muestra que normalmente el volumen de los reciclables acumulados en el centro de acopio es bastante menor a la capacidad instalada (Anexo L.2.1).

A partir de las dimensiones del almacenamiento de residuos y de la pila de compostaje, se diseña el centro de acopio y se estiman sus dimensiones. Con esto se obtiene un área de 616 m<sup>2</sup> para el terreno y de 280 m<sup>2</sup> para el galpón. En el siguiente organigrama se puede observar la organización espacial de los distintos programas que componen el centro de acopio, considerando la superficie calculada para cada uno de ellos (Figura 26) (Anexo L.2.5).

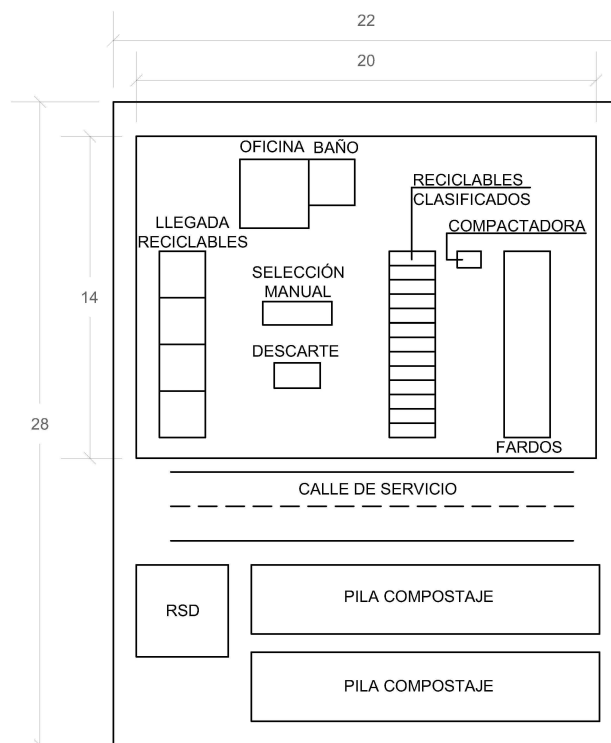


Figura 26: Diagrama espacial Centro de Acopio Cochamó Alternativa 3 (dimensiones en m)

#### 7.1.4 Discusiones

Comparando el número de contenedores necesarios para cada alternativa se obtienen los resultados esperados, teniendo que el número de contenedores requeridos (capacidad de almacenamiento) corresponden a las capacidades de transporte relativos a cada alternativa. La alternativa 2 requiere del doble de contenedores más que las demás alternativas, aproximadamente, lo que se traduce en una mayor inversión en infraestructura. Posteriormente esto se deberá contrastar con el número de viajes y kilómetros recorridos en cada alternativa.

En cuanto a la acumulación de reciclables del Centro de Acopio Cochamó, se tiene que el promedio obtenido para ambas alternativas es similar. Esto se debe a que la acumulación queda determinada por la capacidad del camión de salida, que es la misma para ambas alternativas. Además, las capacidades de almacenamiento de reciclables son bastante mayores al promedio de acumulación obtenido en ambas alternativas. Esto se debe a que los flujos de entrada a los centros de acopio no son regulares, dado que provienen de distintas zonas, por lo que pueden existir ocasiones en que los residuos de distintas zonas llegan al mismo tiempo, debiendo el Centro de Acopio tener la capacidad necesaria para almacenar la totalidad de los flujo de residuos entrantes.

Además, se puede notar que la capacidad de almacenamiento del Centro de Acopio Cochamó en la alternativa 3 es mayor que en la alternativa 2, dada la necesidad de almacenar los RSD provenientes de las zonas D y C, para luego ser retirados a relleno sanitario. Sin embargo, esto no influye finalmente en las dimensiones de los centros de acopio, obteniendo el mismo resultado en superficie para ambos casos.

En cuanto a la pila de compostaje, se tiene que la superficie obtenida parece razonable, considerando la acumulación de la materia orgánica durante seis meses. De todas formas, para su cálculo se considera el caso más optimista en la separación de los residuos (60% de reciclaje), pudiendo ser bastante menor en la realidad.

En general, los tamaños de los centros de acopio parecen razonables considerando la actividad que implica la gestión y almacenamiento de residuos. De todas formas, las dimensiones de los centros de acopio y de los contenedores quedan determinados por la capacidad de los camiones, por lo que estos parámetros pueden cambiar, según sea conveniente.

Las capacidades de almacenamiento determinan la inversión de la infraestructura y equipamiento. Por esta razón, se tiene que la alternativa 2 corresponderá a la mayor inversión, pues es la alternativa que requiere más contenedores y la construcción de dos centros de acopio. Por su parte, la alternativa 1 tendrá una baja inversión, pues no considera el pretratamiento de los materiales reciclables, y por lo tanto el equipamiento necesario corresponde solamente a los contenedores.

## 7.2 Cálculo de logística de transporte

Para estimar la frecuencia de recolección de los residuos se utiliza el Caso Base Operación, que se refiere al promedio del flujo de residuos generados al mes en el último año de vida del proyecto.

Se calcula para cada zona la generación de residuos, considerando la proporción de habitantes por zona y el Caso Base Operación. Además, variando el porcentaje de material reciclado se obtiene para cada caso el flujo de material reciclable a tratar y los RSD a disponer. El caso 0% de residuos a reciclar corresponde a la alternativa 1 (Tabla 15) (Anexo I.2).

Tabla 15: Flujo de RSD y reciclables por zona (CBO)

	Zona A	Zona B	Zona C	Zona D	Total
<b>0% a reciclar</b>					
RSD (Total de cada caso)	6,64	34,98	10,26	12,75	64,62
<b>10% a reciclar</b>					
Reciclables (+ orgánicos en B)	0,45	4,66	0,69	0,86	6,66
RSD	6,19	30,32	9,57	11,89	57,96
<b>20% a reciclar</b>					
Reciclables (+ orgánicos en B)	0,90	9,32	1,38	1,72	13,32
RSD	5,74	25,65	8,87	11,03	51,30
<b>30% a reciclar</b>					
Reciclables (+ orgánicos en B)	1,34	13,99	2,08	2,58	19,99
RSD	5,30	20,99	8,18	10,17	44,64
<b>40% a reciclar</b>					
Reciclables (+ orgánicos en B)	1,79	18,65	2,77	3,44	26,65
RSD	4,85	16,33	7,49	9,31	37,97
<b>50% a reciclar</b>					
Reciclables (+ orgánicos en B)	2,24	23,31	3,46	4,30	33,31
RSD	4,40	11,67	6,80	8,45	31,31
<b>60% a reciclar</b>					
Reciclables (+ orgánicos en B)	2,69	27,97	4,15	5,16	39,97
RSD	3,95	7,01	6,11	7,59	24,65

Considerando la generación de residuos por zona y la capacidad de los camiones (Tabla 8), se obtiene la frecuencia de recolección de los residuos y la eficiencia de capacidad de los camiones (con respecto a la capacidad máxima efectiva). Con esto se obtiene el número de viajes anuales, y por lo tanto los kilómetros recorridos al año (Anexo H).

En las tablas de resultados que se muestran a continuación se tienen los distintos recorridos de cada alternativa, mostrados según el esquema: desde-hasta (material transportado). Para esto se utiliza la siguiente nomenclatura:

- A, AB, B, C, D: Zonas de la comuna
- CA1: Centro de Acopio Cochamó
- CA2: Centro de Acopio Llanada Grande
- RS: Relleno Sanitario

### 7.2.1 Alternativa 1

En este caso, al no existir valorización, los únicos viajes necesarios corresponden a las recogidas de RSD de las distintas zonas y sus salidas al relleno sanitario. Se calculan para cada uno de estos recorridos los parámetros recién mencionados (Tabla 16).

Tabla 16: Logística de transporte (Alternativa 1)

Recorridos	Frecuencia [días]	Eficiencia camión	Viajes anuales	Distancia viaje [km]	Distancia anual [km]
Salida AB-RS (RSD)	3	76%	121	336	40.656
Salida C-RS (RSD)	15	94%	24	290	6.960
Salida D-RS (RSD)	12	94%	30	418	12.540
<b>Distancia total recorrida [km]</b>					<b>60.156</b>

### 7.2.2 Alternativa 2

Esta alternativa considera el pretratamiento de los materiales reciclables, por lo que se calculan los distintos parámetros en función del porcentaje de residuos reciclables a la venta (Tabla 17) (Tabla 18) (Tabla 19).

Tabla 17: Frecuencia viajes (Alternativa 2)

Frecuencia viajes [días]						
Recorridos	Material a reciclar					
	10%	20%	30%	40%	50%	60%
D-CA2 (reciclables)	30	30	27	20	16	13
CA2-CA1 (reciclables)	136	72	47	34	27	23
A-CA1 (reciclables)	30	30	30	30	30	26
B-CA1 (reciclables)	20	7	5	3	3	2
C-CA1 (reciclables)	-	-	-	25	20	17
BC-CA1 (reciclables)	30	30	30	-	-	-
Salida CA1 (reciclables)	53	26	17	13	10	9
Salida AB-RS (RSD)	4	5	6	7	9	13
Salida C-RS (RSD)	17	18	19	21	24	26
Salida D-RS (RSD)	13	14	15	17	19	21

Tabla 18: Eficiencia camión (Alternativa 2)

Eficiencia camión [%]						
Recorridos	Material a reciclar					
	10%	20%	30%	40%	50%	60%
D-CA2 (reciclables)	36	72	97	96	96	94
CA2-CA1 (reciclables)	100	100	100	100	100	100
A-CA1 (reciclables)	19	37	56	75	94	98
B-CA1 (reciclables)	98	91	96	78	98	78
C-CA1 (reciclables)	-	-	-	97	97	99
BC-CA1 (reciclables)	77	83	100	-	-	-
Salida CA1 (reciclables)	100	100	100	100	100	100
Salida AB-RS (RSD)	90	97	98	93	92	94
Salida C-RS (RSD)	99	98	95	96	100	97
Salida D-RS (RSD)	95	95	96	98	99	99

Tabla 19: Viajes anuales (Alternativa 2)

Viajes anuales						
Recorridos	Material a reciclar					
	10%	20%	30%	40%	50%	60%
D-CA2 (reciclables)	12	12	13	18	22	28
CA2-CA1 (reciclables)	2	5	7	10	13	15
A-CA1 (reciclables)	12	12	12	12	12	14
B-CA1 (reciclables)	18	48	72	121	121	182
C-CA1 (reciclables)	-	-	-	14	18	21
BC-CA1 (reciclables)	12	12	12	-	-	-
Salida CA1 (reciclables)	6	14	21	28	36	42
Salida AB-RS (RSD)	91	72	60	52	40	27
Salida C-RS (RSD)	21	20	19	17	15	14
Salida D-RS (RSD)	28	26	23	21	19	17
<b>Total viajes</b>	<b>202</b>	<b>221</b>	<b>239</b>	<b>293</b>	<b>296</b>	<b>360</b>

A partir del número de viajes anuales por tipo de recorrido y la distancia de cada uno de los recorridos (considerando ida y vuelta), se obtienen los kilómetros que deben recorrer los camiones dentro de la comuna (interno), hacia el exterior de la comuna (externo) y el total de ellos (Figura 27) (Tabla 20) (Anexo M).

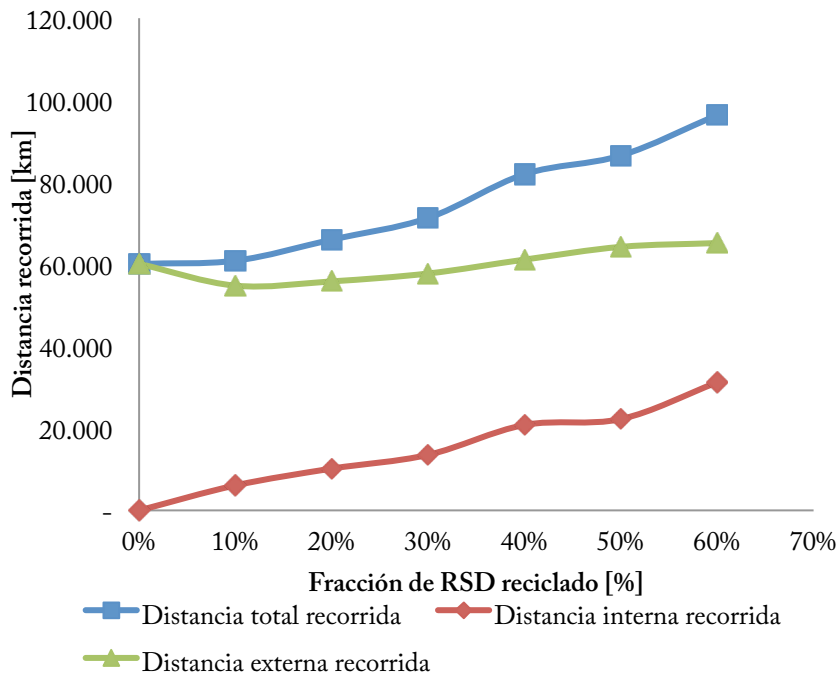


Figura 27: Distancia anual recorrida (Alternativa 2)

Tabla 20: Distancia anual recorrida (Alternativa 2)

Material a reciclar	0%	10%	20%	30%	40%	50%	60%
Distancia interna recorrida [km]	-	6.100	10.200	13.600	20.900	22.300	31.300
Distancia externa recorrida [km]	60.200	54.800	55.900	57.800	61.200	64.300	65.200
Distancia total recorrida [km]	60.200	60.900	66.100	71.400	82.100	86.600	96.500

### 7.2.3 Alternativa 3

Al igual que en el caso anterior, esta alternativa considera la valorización de los residuos, por lo que se calculan los distintos parámetros en función del porcentaje de residuos reciclados (Tabla 21) (Tabla 22) (Tabla 23).

Tabla 21: Frecuencia viajes (Alternativa 3)

Frecuencia viajes [días]						
Recorridos	Material a reciclar					
	10%	20%	30%	40%	50%	60%
A-CA (reciclables)	30	30	30	30	30	26
B-CA (reciclables)	15	7	5	3	3	2
C-CA (RSD + reciclables)	6	6	6	6	6	6
D-CA (RSD + reciclables)	5	5	5	5	5	5
Salida CA (reciclables)	52	25	17	13	10	8
Salida AB-RS (RSD)	3	3	3	4	5	6

Tabla 22: Eficiencia camión (Alternativa 3)

Eficiencia camión [%]						
Recorridos	Material a reciclar					
	10%	20%	30%	40%	50%	60%
A-CA (reciclables)	19	37	56	75	94	98
B-CA (reciclables)	98	91	98	78	98	78
C-CA (RSD + reciclables)	86	86	86	86	86	86
D-CA (RSD + reciclables)	89	89	89	89	89	89
Salida CA (reciclables)	100	100	100	100	100	100
Salida AB-RS (RSD)	89	95	96	97	98	98

Tabla 23: Viajes anuales (Alternativa 3)

Viajes anuales						
Recorridos	Material a reciclar					
	10%	20%	30%	40%	50%	60%
A-CA (reciclables)	12	12	12	12	12	14
B-CA (reciclables)	24	52	72	121	121	182
C-CA (RSD + reciclables)	60	60	60	60	60	60
D-CA (RSD + reciclables)	72	72	72	72	72	72
Salida CA (reciclables)	7	14	21	29	36	43
Salida AB-RS (RSD)	144	121	104	88	72	57
<b>Total viajes</b>	<b>319</b>	<b>331</b>	<b>341</b>	<b>382</b>	<b>373</b>	<b>428</b>

A partir del número de viajes anuales por tipo de recorrido y la distancia de cada uno de los recorridos (considerando ida y vuelta), se obtienen los kilómetros anuales que deben recorrer los camiones dentro de la comuna (interno), hacia el exterior de la comuna (externo) y el total de ellos (Figura 28) (Tabla 24) (Anexo M).

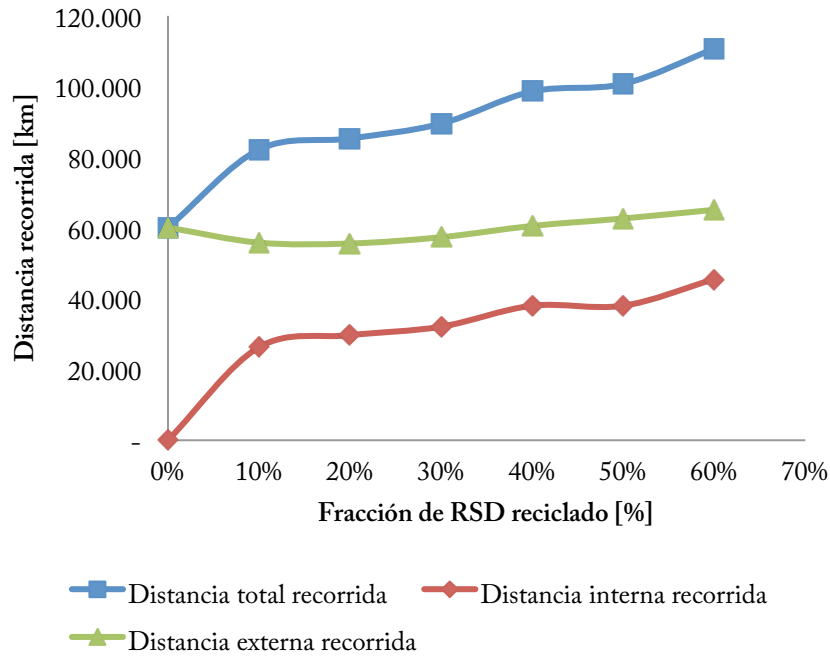


Figura 28: Distancia anual recorrida (Alternativa 3)

Tabla 24: Distancia anual recorrida (Alternativa 3)

Material a reciclar	0%	10%	20%	30%	40%	50%	60%
Distancia interna recorrida [km]	-	26.400	29.700	32.200	38.100	38.100	45.600
Distancia externa recorrida [km]	60.200	55.900	55.700	57.500	60.600	62.800	65.200
Distancia total recorrida [km]	60.200	82.300	85.400	89.700	98.700	100.900	110.800

Los resultados de distancia anual recorrida se resumen en la Tabla 25, donde se comparan las distintas alternativas.

Tabla 25: Resumen distancia recorrida

	Distancia total recorrida [km]
Alternativa 1	60.200
Alternativa 2 (30%)	71.400
Alternativa 3 (30%)	89.700

#### 7.2.4 Discusiones

En general se puede observar que, en las alternativas 2 y 3, a medida que aumenta el porcentaje de material reciclado, la frecuencia de viajes aumenta para los recorridos que transportan reciclables y disminuye para los que transportan RSD, cumpliendo con lo esperado.

Se ha impuesto un máximo de frecuencia de recolección de 30 días, para asegurar la recolección a un tiempo razonable en las zonas con menos generación de residuos, con el fin de



cumplir las necesidades y expectativas de la población. En los casos en que la separación de residuos en el origen es baja, se puede observar que para las zonas con menor población la frecuencia de recolección es la máxima establecida y la eficiencia en la capacidad de carga del camión es baja.

Las frecuencias de salida de reciclables de los centros de acopio no tienen límites, pues se prefiere utilizar el máximo la capacidad del camión, sin importar que no se retire la totalidad de los reciclables acumulados, pues los sobrantes pueden seguir almacenados en el centro de acopio. De esta forma, se obtiene una eficiencia del 100% para las salidas de reciclables de los centros de acopio.

En la alternativa 2, en los casos en que la frecuencia de recolección de la zona C supera la máxima establecida y que por lo tanto se impone ésta última, se tiene la opción de realizar el recorrido desde BC al Centro de Acopio Cochamó (BC-CA1). Esto, con el fin de aprovechar la capacidad de carga del camión y aumentar su eficiencia, recolectando también los residuos de la zona B, que queda en el mismo trayecto hacia el centro de acopio. En la Tabla 17 y Tabla 18 se puede observar que para el recorrido BC-CA1, en los porcentajes más bajos de reciclaje de residuos, se tiene una frecuencia de 30 días, con un aumento en su eficiencia hasta llegar al 100%. Luego de esto, la frecuencia de recolección de residuos en C es mayor a 30 días, por lo que se realiza el recorrido C-CA1, sin recolectar residuos de B, con buenas eficiencias de carga del camión.

En general las eficiencias de carga del camión son buenas (cercasas al 100%), debido a la imposición de que los camiones sólo realizan viajes en la medida en que se complete el camión lo más cercano a su máxima capacidad, sin superarla, pero asegurándose de llevar todo lo acumulado en esa zona. Las eficiencias lejanas al máximo, se debe a la restricción sobre la frecuencia de recolección máxima.

Se puede observar en la Tabla 22, que para la alternativa 3, las eficiencias de los camiones son buenas en casi todos los casos, con excepción del recorrido A-CA. Esto se debe a que, para cualquier porcentaje de separación de residuos, se aprovecha de igual forma la capacidad de los camiones en los viajes hacia las zonas C y D, llevando RSD y reciclables. De esta forma, se puede notar que la alternativa 3 tiene mejores eficiencias de carga, sin importar el porcentaje de separación en el origen.

También, se puede observar en la Tabla 19 y Tabla 23, que para las alternativas 2 y 3, a medida que aumenta el porcentaje de recuperación de reciclables, el número de viajes anuales aumenta para los recorridos que transportan reciclables y disminuye para los que transportan RSD. Además, el total de viajes anuales va aumentando a medida que se separan más residuos en el origen. La mayoría de los viajes corresponden a la zona B, dado que es la zona que posee mayor generación de residuos.

Todos estos resultados determinan finalmente la distancia anual recorrida por cada alternativa, que corresponde a la variable comparable entre las distintas alternativas, pudiendo determinar ventajas de una sobre las otras (Tabla 25).

Observando la Figura 27 y la Figura 28 se puede notar que la distancia total recorrida para ambos casos aumenta con el aumento de la separación de residuos en el origen. Se observa que la distancia recorrida hacia el exterior de la comuna se mantiene casi constante, mientras que la distancia recorrida internamente en la comuna aumenta más notoriamente.

Con la Tabla 20 y Tabla 24 se pueden comparar las distancias totales anuales que debe recorrer el camión para cada alternativa. El caso 0% corresponde a la alternativa 1. Así, se puede notar que la alternativa 1 es la que debe recorrer menos distancia, luego la alternativa 2 y por último la alternativa 3. Esto se traducirá finalmente en costos operacionales, siendo más conveniente las alternativas que recorran menor distancia.

El método heurístico que se ha utilizado, permite obtener las dimensiones de los Centros de Acopio y contenedores y la logística de transporte de la gestión de residuos a partir de la capacidad de los camiones. Para esto, se debe buscar la capacidad de camiones que permita realizar el menor número de viajes con las mejores eficiencias de carga. Sin embargo, el óptimo de la capacidad del camión depende directamente de la separación en el origen de reciclables, siendo una variable incierta. Es por esto, que se apuesta por un máximo posible en la separación de residuos, asumiendo que en el proceso de adaptación de la comunidad, la eficiencia del sistema estará lejos de la óptima, acercándose progresivamente. Por esto es importante educar a la población, para cumplir eventualmente el óptimo del proyecto.

## 8 Estructura organizacional

Además de diseñar el sistema de recolección, transporte y tratamiento de los residuos, es necesario plantear un sistema administrativo acorde a las exigencias de cada alternativa. Según el diagnóstico realizado de la comuna y la identificación de problemas, uno de las grandes causas de éstos es la inexistencia de una entidad administrativa municipal. Es por esto que se proponen distintas estructuras organizacionales para cada una de las alternativas.

En primer lugar, para todas las alternativas se propone un Jefe de Aseo y Ornato, cargo inexistente en la actualidad. Esta persona se deberá hacer cargo de la administración total del sistema de gestión de residuos.

Para la alternativa 1, se propone la misma estructura existente actualmente, constituida por dos choferes y dos recolectores, con la adición del Jefe de Aseo y Ornato a su cargo. Cada chofer deberá operar un camión de basura y tendrá un recolector de ayudante (Figura 29).

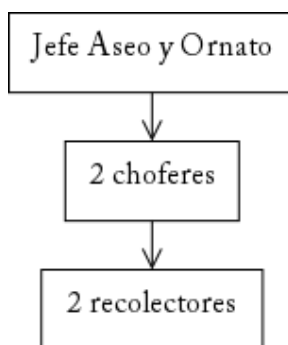


Figura 29: Organigrama alternativa 1

Para la alternativa 2, la estructura consiste en un Jefe de Aseo y Ornato a cargo de administradores para cada Centro de Acopio. El administrador del Centro de Acopio Cochamó, tendrá a su cargo a tres operarios, quienes deberán desempeñar las labores de chofer y recolector de los materiales reciclables y operario del Centro de Acopio, según sea conveniente. Asimismo, el administrador del Centro de Acopio Llanada Grande, tendrá a su cargo a un operario, quienes en conjunto deberán desempeñar todas las tareas relacionadas a la gestión de los residuos de su sector. Por otra parte, el Jefe de Aseo y Ornato tendrá a su cargo al chofer del camión recolector de RSD, quien tendrá un recolector como ayudante (Figura 30).

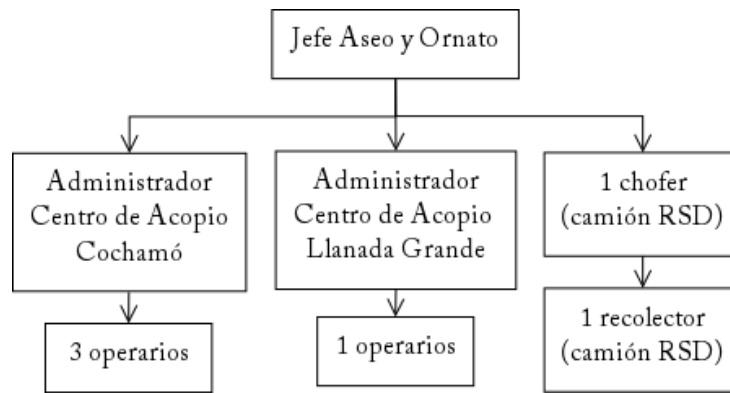


Figura 30: Organigrama alternativa 2

Por último, para la alternativa 3, la estructura consiste en un Jefe de Aseo y Ornato a cargo de un administrador para el Centro de Acopio Cochamó. Éste tendrá a su cargo a cuatro operarios que deberán cumplir las funciones de chofer y recolector de los materiales reciclables y RSD (zonas C y D) y operario del centro de acopio, según sea conveniente. Por otra parte, el Jefe de Aseo y Ornato tendrá a su cargo al chofer del camión recolector de RSD, quien tendrá un recolector como ayudante (Figura 31).

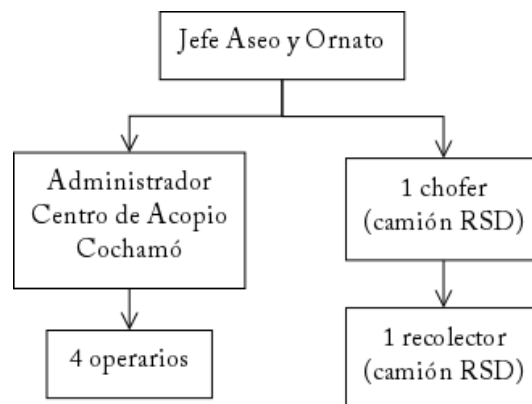


Figura 31: Organigrama alternativa 3

El número de operarios para las distintas alternativas se estimaron considerando el Caso Base Inversión y asumiendo una recuperación de reciclables del 60%, con el fin de tener el personal necesario para el caso máximo de flujo de residuos. Se consideran dos operarios para la recolección de residuos en la comuna, y el resto como apoyo en las labores en el centro de acopio, por lo que, analizando la frecuencia de viajes, se estima un número de operarios.

Para el cargo de Jefe de Aseo y Ornato se requerirá un profesional con conocimientos en administración. Para el cargo de administrador del centro de acopio, bastará con personas que hayan cursado la enseñanza básica y media, a los que se deberá realizar capacitaciones especializadas para el cargo. Para los demás cargos, deberán tener licencia de conducir profesional (clase A).

## 9 Evaluación ambiental

Uno de los criterios utilizados para evaluar las distintas alternativas corresponde al impacto ambiental generado. Para medir el impacto ambiental de los distintos proyectos propuestos existen múltiples enfoques y herramientas. La herramienta más utilizada corresponde al análisis de ciclo de vida (LCA), que permite evaluar los impactos ambientales asociados a un producto, proceso o actividad, identificando y cuantificando el uso de recursos y las emisiones generadas [26]. Esta herramienta permite realizar un análisis profundo y objetivo, sin embargo resulta ser muy extenso para ser abordado en este trabajo.

Analizando la naturaleza del proyecto, se tiene que los impactos ambientales están en su mayoría relacionados a las emisiones de gases de efecto invernadero, asociados al transporte y disposición de residuos. Por esto se decide evaluar las alternativas propuestas mediante el cálculo de la huella de carbono, para luego compararlas. La huella de carbono, también llamada Potencial de Calentamiento Global (PCG), corresponde a una de muchas categorías de impacto que abarca el análisis de ciclo de vida. Ésta se define como el conjunto de emisiones de gases de efecto invernadero producidas, directa o indirectamente, por personas, organizaciones, productos, eventos o regiones geográficas [27]. Los distintos gases de efecto invernadero son convertidos a su valor equivalente en dióxido de carbono ( $\text{CO}_2\text{eq}$ ), siendo la tonelada de  $\text{CO}_2\text{eq}$  [ $\text{tCO}_2\text{eq}$ ] la unidad de medida de la huella de carbono.

Este análisis estará limitado a los impactos directos del proyecto, excluyendo las emisiones de lo que ocurre “aguas arriba” en la cadena del reciclaje (Figura 32). Las emisiones asociadas al reciclaje de los residuos se atribuyen a las organizaciones que utilizan el material reciclado, quedando fuera del análisis [28]. Para un estudio más profundo, se puede considerar toda la cadena del reciclaje, pudiendo medir el impacto total del proceso. De todas formas, se conoce la existencia de un ahorro de emisiones asociados al reciclaje de materiales en comparación a la producción a partir de materia prima virgen.



Figura 32: Proceso global del reciclaje

Además, el análisis abarcará solamente la operación del plan de gestión de residuos, descartando la construcción y el cierre del proyecto. Por lo tanto, se considerarán los impactos provocados desde la generación del residuos hasta su disposición o venta.

Asimismo, el análisis no considerará las emisiones indirectas como uso de recursos o energía, dado que se estiman despreciables frente a las emisiones directas.

Consecuentemente, se estimarán las emisiones asociadas al transporte, disposición y compostaje de los residuos, de cada una de las alternativas.

Para realizar estos cálculos se utiliza el Caso Base Operación, dado que considera el promedio en la generación de residuos mensuales, lo que permitirá obtener resultados promedios de los impactos generados. Conociendo las distancias que deben recorrer los camiones, los flujos de residuos dispuestos y compostados y los factores de emisión de cada una de estas actividades, se obtienen las toneladas de CO<sub>2</sub>eq anuales emitidas para cada una de las alternativas. Además, considerando el precio social del CO<sub>2</sub> del año 2017, entregado por el MIDESO, se obtiene el costo social en pesos chilenos de los impactos ambientales del proyecto (Tabla 26) (Tabla 27) (Anexo N). En las tablas, el caso de 0% de material reciclado corresponde a la alternativa 1.

Los resultados de cada una de las actividades consideradas en el análisis se grafican para observar su comportamiento (Figura 33) (Figura 34).

Tabla 26: Potencial de Calentamiento Global (Alternativa 2)

Material a reciclar	CO <sub>2</sub> eq [tCO <sub>2</sub> eq/año]						
	0%	10%	20%	30%	40%	50%	60%
Transporte	33,6	34,0	36,8	39,8	45,7	48,3	53,8
Disposición RSD	326,5	293,5	260,5	227,5	194,5	161,5	128,5
Compostaje	0,0	0,2	0,3	0,5	0,7	0,8	1,0
Total	360,1	327,6	297,7	267,8	240,9	210,6	183,3
Costo social CO <sub>2</sub> anual	\$7.810.000	\$7.110.000	\$6.460.000	\$5.810.000	\$5.230.000	\$4.570.000	\$3.980.000

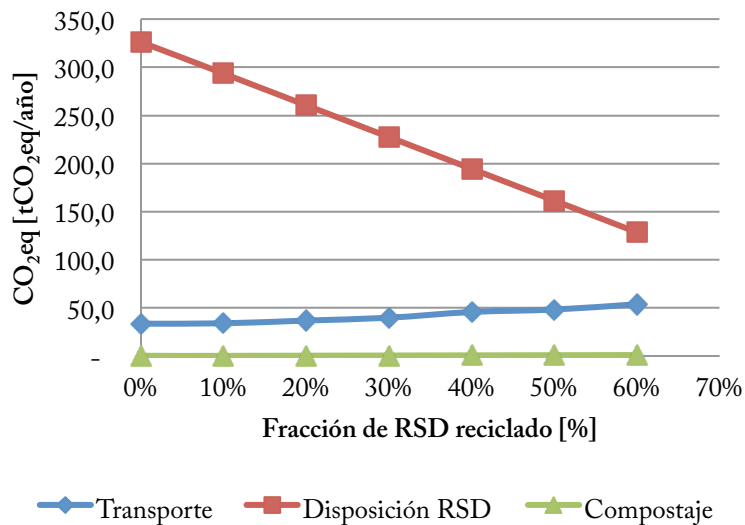


Figura 33: Potencial de Calentamiento Global por actividad (Alternativa 2)

Tabla 27: Potencial de Calentamiento Global (Alternativa 3)

CO <sub>2</sub> eq [tCO <sub>2</sub> eq/año]							
Material a reciclar	0%	10%	20%	30%	40%	50%	60%
Transporte	33,6	45,9	47,6	50,0	55,0	56,2	61,8
Disposición RSD	326,5	293,5	260,5	227,5	194,5	161,5	128,5
Compostaje	-	0,2	0,3	0,5	0,7	0,8	1,0
Total	360,1	339,5	308,4	277,9	250,2	218,5	191,3
Costo social CO <sub>2</sub> anual	\$7.810.000	\$7.370.000	\$6.690.000	\$6.030.000	\$5.430.000	\$4.740.000	\$4.150.000

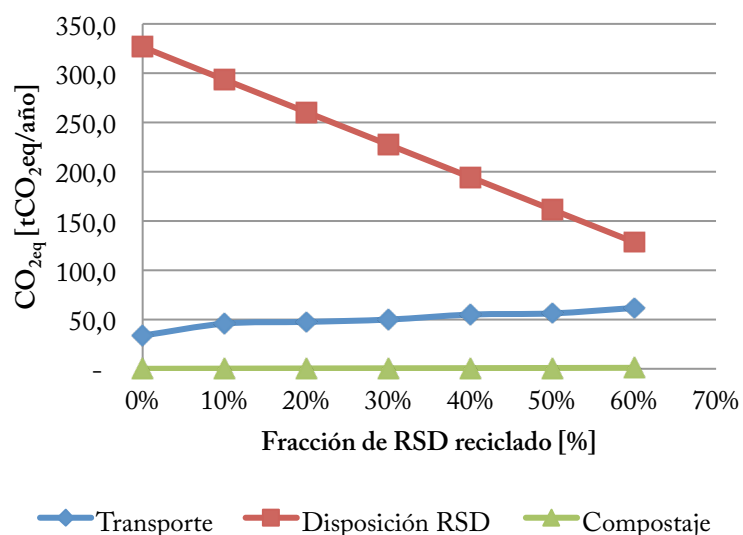


Figura 34: Potencial de Calentamiento Global por actividad (Alternativa 3)

Los resultados se resumen en la Tabla 28, donde se comparan las distintas alternativas. Se asume en este caso un 30% y 60% de materiales reciclables recuperados.

Tabla 28: Resumen Potencial de Calentamiento Global

	PCG (30%) [tCO <sub>2</sub> eq/año]	PCG (60%) [tCO <sub>2</sub> eq/año]
Alternativa 1	360,1	360,1
Alternativa 2	267,8	183,3
Alternativa 3	277,9	191,3

En la Tabla 26 y Tabla 27 se muestra que el Potencial de Calentamiento Global disminuye a medida que aumenta el porcentaje de material reciclado en la comuna. El caso 0%, correspondiente a la alternativa 1, es el escenario en que se emiten más gases de efecto invernadero, siendo razonable según se explica a continuación.

Si se analizan los distintos componentes por separado (Figura 33) (Figura 34), se puede notar que para las alternativas 2 y 3 a medida que aumenta el porcentaje de material reciclado, las emisiones correspondientes al transporte y compostaje aumentan. Por su parte, las emisiones correspondientes a la disposición de RSD van disminuyendo a una mayor tasa, determinando

finalmente el resultado. Esto se debe a que la disposición de residuos emite principalmente gas metano, que posee un PCG 25 veces mayor que el dióxido de carbono [28]. Esto da cuenta del alto impacto que genera la disposición de residuos y la importancia de disminuir esta actividad.

Luego, la alternativa 1, correspondiente a la mayor disposición de residuos en relleno sanitario, genera mayores emisiones que las otras alternativas, llegando a duplicar su valor en el caso más optimista (Tabla 28). Por lo tanto, la alternativa 1 provoca un mayor impacto ambiental en términos de emisiones, siendo entonces la menos favorable.

Al comparar las alternativas 2 y 3 no existen grandes diferencias en las emisiones de gases de efecto invernadero, siendo levemente mayor para la alternativa 3. Esto se debe principalmente a que la alternativa 3 requiere recorrer más kilómetros en transporte que la alternativa 2 (Tabla 20) (Tabla 24).



## 10 Evaluación económica

### 10.1 Análisis de costos sociales

Las distintas alternativas se evalúan mediante un análisis de costos sociales. Esto se debe a que el proyecto es ejecutado directamente por la municipalidad, como ente estatal, sin la intervención de un agente inversionista privado. En este análisis se deben aplicar los precios sociales, dado que éstos representan el verdadero costo de oportunidad para la sociedad del uso de recursos [1].

Entendiendo que los costos privados incorporan distorsiones, es necesario convertir los precios de mercado a precios sociales. Esto se realiza eliminando impuestos, subsidios y aranceles de importación y utilizando factores de corrección y precios sociales entregados por el Ministerio de Desarrollo Social cada año [29].

Con estas consideraciones se calculan los costos de inversión y operación de cada alternativa.

Se calcula la inversión en el año 0 y se establecen dos reinversiones a lo largo del periodo del proyecto, correspondientes a la compra de nuevos camiones recolectores, considerando una vida útil de 7 años [30] (Tabla 29). La alternativa 1 considera la compra de camiones y contenedores de residuos. Para las alternativas 2 y 3, los elementos principales de la inversión corresponden a la compra de terreno, construcción de infraestructura y compra de camiones (Anexo O.1).

Tabla 29: Inversión

	Inversión (año 0) [CLP]	Inversión (año 7) [CLP]	Inversión (año 14) [CLP]
Alternativa 1	128.900.000	116.100.000	116.100.000
Alternativa 2	309.400.000	118.900.000	118.900.000
Alternativa 3	247.200.000	118.900.000	118.900.000

Por su parte, los costos de operación quedan determinados por el porcentaje de residuos que son reciclados (Tabla 30). Estos costos corresponden principalmente a los sueldos, además del combustible para los camiones y la disposición de los residuos en el relleno sanitario (Anexo O.2).

Tabla 30: Costos de operación

Material a reciclar	Costos de operación [CLP]					
	10%	20%	30%	40%	50%	60%
Alternativa 1	38.500.000	38.500.000	38.500.000	38.500.000	38.500.000	38.500.000
Alternativa 2	59.000.000	58.700.000	58.300.000	58.400.000	57.900.000	58.000.000
Alternativa 3	58.800.000	58.200.000	57.800.000	57.700.000	57.100.000	57.100.000

Además, se estiman los ingresos correspondientes a la venta del producto a las empresas de reciclaje (Tabla 31) (Anexo O.3).

Tabla 31: Ingresos

Material a reciclar	Ingresos [CLP]					
	10%	20%	30%	40%	50%	60%
Alternativa 1	0	0	0	0	0	0
Alternativa 2	11.900.000	23.700.000	35.600.000	47.400.000	59.300.000	71.100.000
Alternativa 3	11.900.000	23.700.000	35.600.000	47.400.000	59.300.000	71.100.000

Con estos resultados se construye un flujo de caja en un horizonte de 20 años, que corresponde a la vida útil de la infraestructura de los Centros de Acopio [30], siendo la mayor inversión, junto a los camiones que son renovados cada 7 años (Anexo O.4).

Dado que se trata de una evaluación social del proyecto, sería importante considerar los beneficios y costos sociales asociados. La mayoría de éstos son difíciles de cuantificar, por lo que se incluye solamente el costo social de la emisiones de gases de efecto invernadero en el análisis de costos, calculados en la Tabla 26 y Tabla 27. Al no considerar los beneficios sociales de las diferentes alternativas en el cálculo del flujo de caja, es posible obtener valores negativos en rentabilidad, debiendo en este caso elegir el menos negativo. Además, será necesario analizar cualitativamente las variables que no pudieron ser cuantificadas para comparar las distintas alternativas.

El flujo de caja considera también los derechos de aseo cobrados a las personas que poseen patentes comerciales en la comuna [31]. Por lo tanto, los componentes del flujo de caja se resumen en la Tabla 32.

Tabla 32: Componentes flujo de caja

(+) Ingresos por ventas
(+) Derechos de aseo
(-) Costos de operación
(-) Costo social CO <sub>2</sub>
(-) Inversiones

A partir del flujo de caja se estiman distintos indicadores económicos de costo-eficiencia y rentabilidad para evaluar las alternativas y así apoyar la toma de decisiones respecto a cual es más conveniente. Para el cálculo de estos se utiliza una tasa social de descuento (TSD) de 6% [32]. Los indicadores económicos corresponden a:

- Valor Actual de los Costos (VAC)
- Costo por Tonelada Tratada (CTT)
- Valor Actual Neto Social (VANS)
- Tasa Interna de Retorno Social (TIRS)

Se calculan cada uno de estos indicadores para cada alternativa, obteniendo distintos resultados dependiendo del porcentaje de material a reciclar en la comuna (Tabla 33) (Tabla 34) (Anexo O.5). En las tablas, el caso de 0% de material reciclado corresponde a la alternativa 1.

Tabla 33: Indicadores económicos Alternativa 2

Material a reciclar	Indicadores económicos [M\$]						
	0%	10%	20%	30%	40%	50%	60%
VAC	788.200	1.199.100	1.187.300	1.175.700	1.169.800	1.157.500	1.150.700
CTT	50,8	77,3	76,6	75,8	75,4	74,6	74,2
VANS	-771.900	-1.046.900	-899.400	-751.900	-610.200	-462.000	-319.400
TIRS	SCP	SCP	SCP	SCP	SCP	SCP	-16%

Tabla 34: Indicadores económicos Alternativa 3

Material a reciclar	Indicadores económicos [M\$]						
	0%	10%	20%	30%	40%	50%	60%
VAC	788.200	1.136.800	1.123.000	1.110.300	1.102.700	1.087.800	1.081.100
CTT	50,8	73,3	72,4	71,6	71,1	70,1	69,7
VANS	-771.900	-984.700	-835.100	-686.500	-543.100	-392.400	-249.900
TIRS	SCP	SCP	SCP	SCP	SCP	SCP	-14%

\*SCP: Sin cálculo posible

Además, se grafican estos resultados para facilitar la comparación entre las alternativas (Figura 35) (Figura 36) (Figura 37).

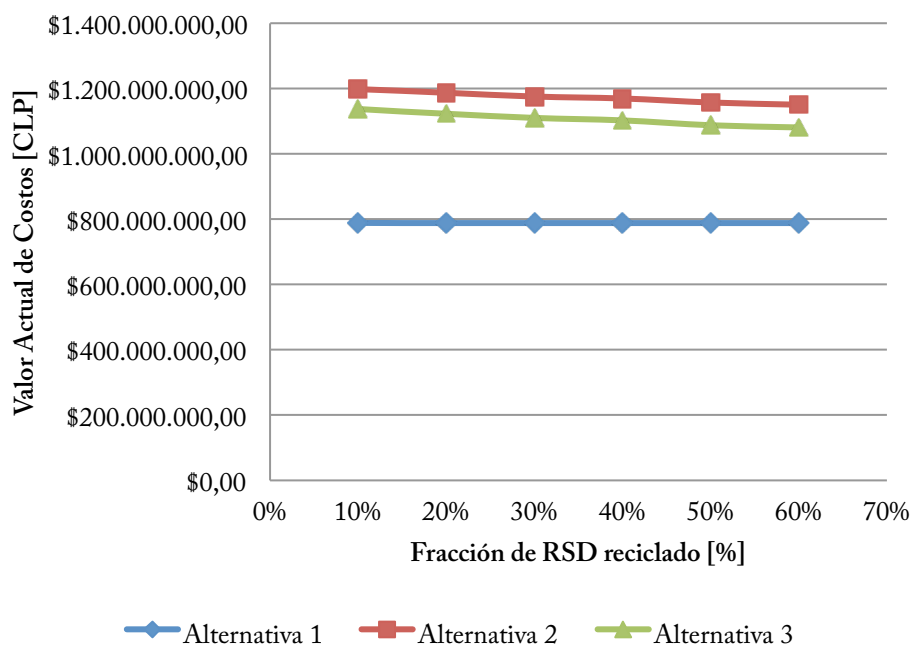


Figura 35: Valor Actual de Costos

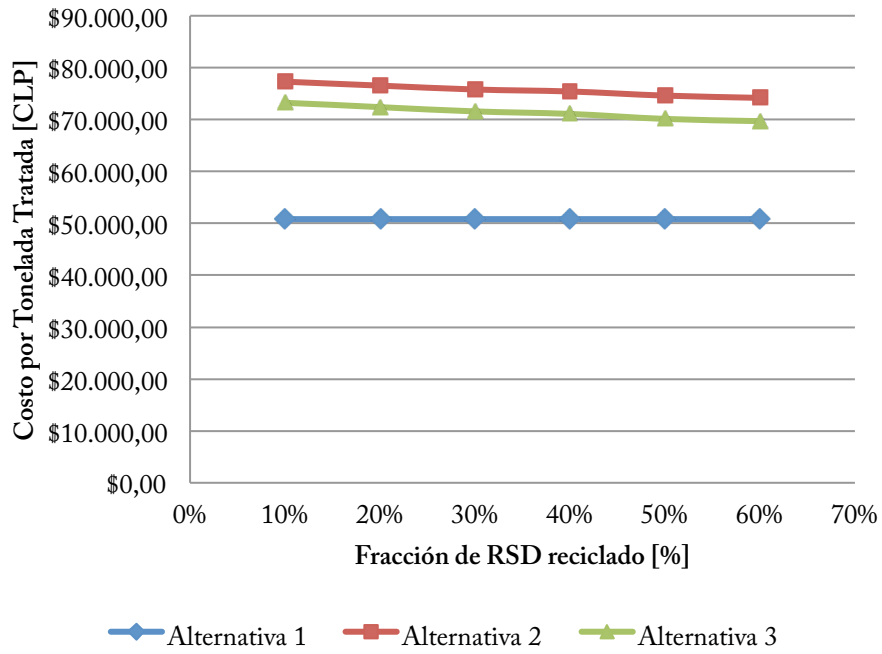


Figura 36: Costo por Tonelada Tratada

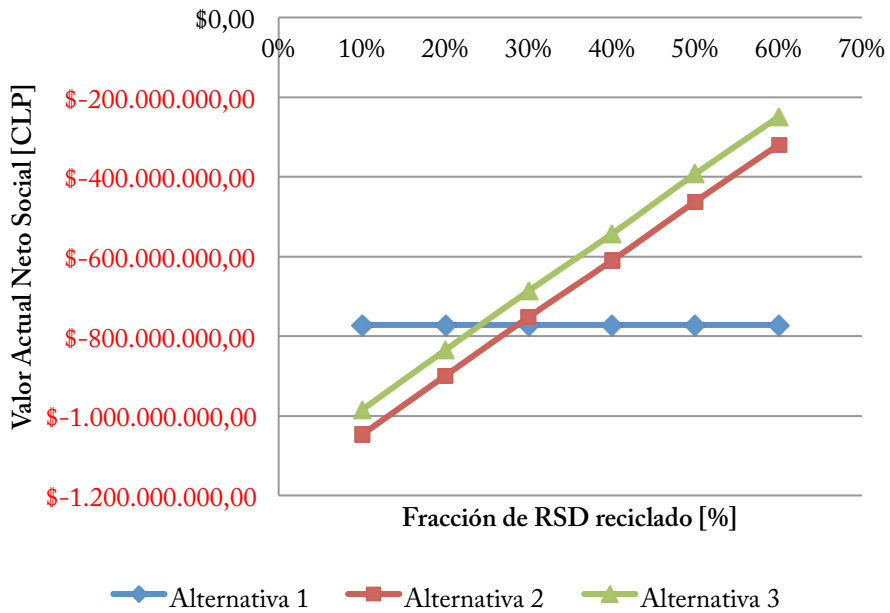


Figura 37: Valor Actual Neto Social

Sensibilizando el caso base, se estima el VANS del proyecto tomando el Caso Base Inversión como flujo de generación de residuos (Figura 38).

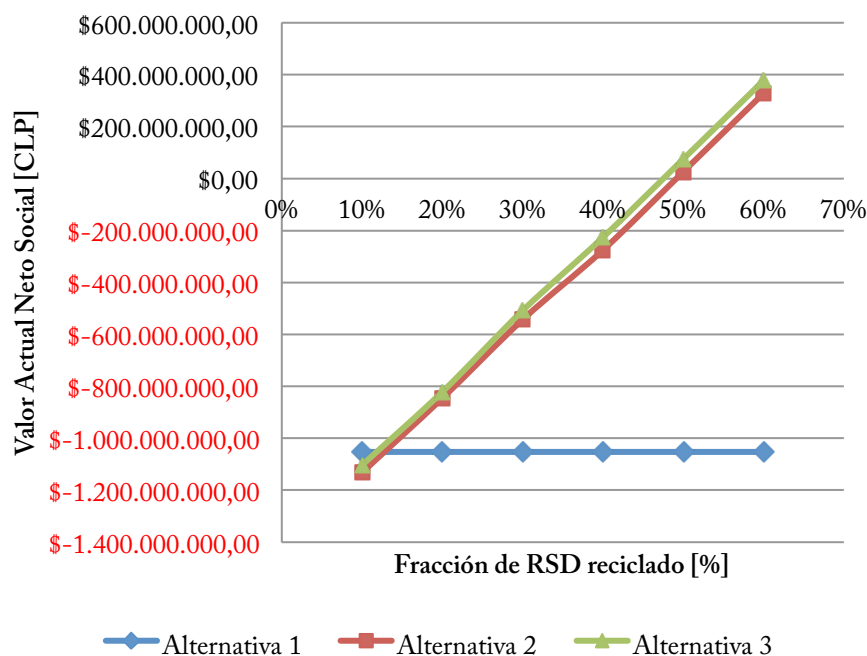


Figura 38: Valor Actual Neto Social sensibilizado

Los resultados del VANS para cada alternativa se resumen en la Tabla 35, con el fin de compararlos. Se asume en este caso un 30% de materiales reciclables recuperados.

Tabla 35: Resumen VANS

	VANS [CLP] (30% a reciclar)
Alternativa 1	-771.900.000
Alternativa 2	-751.900.000
Alternativa 3	-689.500.000

## 10.2 Discusiones

En la Tabla 29, se observa que la menor inversión corresponde a la alternativa 1, debido a que sólo considera la compra de camiones y de contenedores de residuos. De las alternativas que consideran el pretratamiento de los residuos, la alternativa 2 es la de mayor inversión, dado que considera la construcción de dos centros de acopio en la comuna, en comparación con la alternativa 3 que considera sólo un centro de acopio.

Por bibliografía se tiene que la inversión en este tipo de proyectos oscila entre 3-6 millones de dólares [23], obteniendo resultados 10 veces menor a estas cifras. Esto parece razonable, entendiendo que la comuna es muy pequeña, con solo cerca de 4.000 habitantes, en comparación al común de las agrupaciones territoriales que desarrollan estos proyectos, considerando como población mediana a un número de habitantes entre 50.000-300.000 [1].

En cuanto a los costos de operación, la mayor parte corresponde a los sueldos (Anexo 0). En la Tabla 30 se observa que la alternativa 1 es la que requiere menos costos de operación. Esto se debe principalmente a que se requieren menos puestos de trabajo y el gasto en combustible es

menor. Por su parte, las alternativa 2 y 3 son muy similares, encontrando pequeñas diferencias en el gasto en combustible y en los puestos de trabajo requeridos.

Además, en la Tabla 31 se tiene que al alternativa 1 no posee ingresos, pues no considera la venta de productos, mientras que las alternativa 2 y 3 tienen ingresos de millones de pesos, dependiendo del flujo de material reciclado, siendo igual para ambas. Lógicamente, estos ingresos van aumentando en la medida que lo hace la fracción de material reciclable recuperado.

Analizando los indicadores económicos calculados, se tiene que el menor VAC obtenido corresponde a la alternativa 1, siendo consecuente con los resultados anteriores. Asimismo, el VAC obtenido para las alternativa 2 y 3 es similar, y va disminuyendo a medida que aumenta el flujo de material reciclado. Si bien los costos asociados a las emisiones de gases de efecto invernadero son mayores para la alternativa 1, los costos de inversión y de operación son los que determinan finalmente el resultado.

El Valor Actual de los Costos, se utiliza cuando los beneficios obtenidos por distintas alternativas son iguales. Para esto se pueden incorporar obras y medidas de mitigación ambientales y sociales, internalizado sus costos. Sin embargo, en este trabajo no se logra considerar en los costos los elementos ambientales y sociales que permiten una igualdad de beneficios. Por ejemplo, para la alternativa 1, no se consideran medidas de mitigación ambiental por los gases de efecto invernadero emitidos o acciones sociales por la sensibilización de la población por temas ambientales. Por lo demás, difícilmente la alternativa 1 pueda igualarse en beneficios con respecto a las otras alternativas. Es por esto que este indicador si bien entrega cierta información útil, no determina la mejor alternativa.

Para el indicador de CTT ocurre lo mismo, pues se calcula a partir del VAC. Por lo que tampoco se utiliza para determinar la mejor alternativa. Sin embargo, estos resultados se pueden comparar con experiencias anteriores. De acuerdo a información entregada por la CEPAL, el costo promedio de la recolección, traslado y tratamiento de basura de los países de América Latina y el Caribe se estima en 67 dólares por tonelada [1]. Para la alternativa 1 se obtiene cercano a los USD\$78/ton y para las alternativas de valorización sobre los USD\$100/ton. Esto demuestra que los resultados obtenidos se encuentran dentro de lo esperado. Los resultados sobre el promedio se pueden explicar por la dispersión de la población y el aislamiento territorial, que elevan los costos en transporte. También, por la consideración de los costos asociados a los gases de efecto invernadero. Además, en el caso de las alternativas de valorización, el CTT es mayor debido a que el proceso es más complejo.

Con el fin de incorporar los ingresos por venta al análisis, y estimar la rentabilidad del proyecto, se calcula el VANS. Los resultados obtenidos son negativos para todas las alternativas, siendo esperable para una zona rural con bajo número de habitantes, impidiendo alcanzar economías de escala. En la Figura 37 se observa que para las alternativas que incluyen el pretratamiento de los reciclables, el VANS va creciendo a medida que aumenta la fracción de residuos reciclados, sin llegar a un resultado rentable. Comparando estas alternativas con la situación actual mejorada, se tiene que a partir del 25% y 30% de residuos reciclados, es más conveniente realizar las alternativas 3 y 2, respectivamente, que la alternativa 1.

Comparando las alternativas que incluyen el pretratamiento de los reciclables, si bien son bastante similares, se tiene que la alternativa 3 es más conveniente que la 2 (Tabla 35). Esto se debe a que la inversión de esta última es mayor, considerando la instalación de dos centros de acopio. Además de estos resultados, más adelante se analizarán los costos y beneficios sociales no cuantificados, con el fin de elegir la alternativa que mejor se ajuste a la comuna.

A su vez, debido a la baja rentabilidad del proyecto, no es posible calcular la TIRS.

Además, se sensibiliza la rentabilidad, calculando el VANS a partir del Caso Base Inversión (Figura 38). De esto se obtiene un VANS negativo para la alternativa 1, siendo más bajo que el calculado anteriormente con el Caso Base Operación. Esto se debe a que al aumentar el flujo de residuos a generados, se aumentan directamente los costos de recolección, transporte y tratamiento. Por su parte, las alternativas que incluyen el pretratamiento de reciclables alcanzan valores positivos cercano al 50% de los residuos reciclados, siendo indistinguible la diferencia entre ellas. Comparando estas alternativas con la situación actual mejorada, se tiene que convendrá realizar las alternativas de valorización desde el 12% de material reciclado. La diferencia en estos resultados se debe a que utilizando el Caso Base Inversión, se tiene un mejor aprovechamiento de la infraestructura, equipamiento y maquinaria (inversión), pudiendo tratar más a un costo menor por unidad tratada (economía de escala).

### 10.3 Fuente de financiamiento

En contexto de la ley 20.920 que establece el Marco para la Gestión de Residuos, la Responsabilidad Extendida del Productor y Fomento al Reciclaje, se crea el Fondo para el Reciclaje.

Según su reglamento [33], éste tiene por objeto financiar total o parcialmente proyectos, programas y acciones para prevenir la generación de residuos y fomentar su reutilización, reciclaje y otro tipo de valorización, ejecutados por municipalidades o asociaciones de éstas.

Estos proyectos, programas y acciones deberán enmarcarse dentro de las siguientes líneas estratégicas:

- a) Línea N°1: Sensibilización ciudadana sobre la valorización de residuos y la recolección separada.
- b) Línea N°2: Promoción del conocimiento técnico municipal sobre manejo y valorización de residuos.
- c) Línea N°3: Desarrollo de proyectos de infraestructura para recolección, valorización y para adquisición de vehículos y equipamiento.

Por lo tanto, para llevar a cabo algún proyecto de valorización de residuos, es posible postular a este fondo y obtener financiamiento o apoyo técnico.

# 11 Discusiones y recomendación

## 11.1 Elección de la alternativa

Los principales resultados numéricos obtenidos se resumen en la Tabla 36, con el fin de comparar las distintas alternativas, y luego escoger la más conveniente. En esta tabla se asume un 30% de materiales reciclables recuperados, que corresponde al mínimo posible para que las alternativas de pretratamiento reciclables sean convenientes frente a la situación actual mejorada.

Tabla 36: Resumen resultados (30% a reciclar)

	PCG [tCO <sub>2</sub> eq/año]	Inversión (año 0) [CLP]	Costos de operación [CLP]	Ingresos [CLP]	VANS [CLP]
Alternativa 1	360,1	128.900.000	38.500.000	0	-771.900.000
Alternativa 2	267,8	309.400.000	58.300.000	35.600.000	-751.900.000
Alternativa 3	277,9	247.200.000	57.800.000	35.600.000	-689.500.000

Si bien los resultados numéricos aportan información relevante a la hora de evaluar proyectos, también es necesario analizar aquellos aspectos que no fueron cuantificados, y por lo tanto, considerados.

Entendiendo los aspectos económicos, sociales y ambientales de cada una de las alternativas se escoge la que entregue un mayor beneficio para la sociedad.

En primer lugar, se descarta la alternativa 1, correspondiente a la disposición de los residuos en relleno sanitario. Desde el punto de vista ambiental, es la última opción en la jerarquía en el manejo de los residuos (Figura 2) y según los cálculos realizados corresponde a la alternativa con mayores emisiones de gases de efecto invernadero (Tabla 36). Además, desde el punto de vista social, no permite generar sensibilidad en la población sobre temas ambientales, para generar nuevos hábitos responsables con la sociedad y el entorno. Por último, desde lo económico, si bien corresponde a la alternativa con menores costos de inversión y operación, su rentabilidad en la mayoría de los casos es la menos conveniente (Tabla 36). Además, no se tienen fuentes de financiamiento que ayuden a solventar los gastos asociados.

Entre las alternativas restantes, se tienen costos y beneficios muy similares. Del análisis económico se obtiene que es más conveniente realizar la alternativa 3. Sin embargo, analizando la logística de gestión de residuos, se identifica en la alternativa 2 un beneficio social relevante. Dada la composición territorial de la comuna, la zona cordillerana es la más alejada y de difícil acceso, funcionando prácticamente como un sector independiente. Es por esto que toma relevancia la idea de instalar uno de los centros de acopio en Llanada Grande. De esta forma, los habitantes de este sector podrán ser parte de la gestión de residuos comunal, observando de cerca el proceso. Si todo ocurre tan lejos, será difícil para los habitantes de este sector involucrarse con el proyecto y sensibilizarse por estos temas.

Además, la logística de recolección y transporte parece ser operacionalmente más simple y ordenada en la alternativa 2, dado que la recolección de RSD y reciclables se realizan en distintos



eventos, funcionando como dos sistemas distintos. Esto permite al operador enfocar su tarea en un solo tipo de residuo, siendo más fácil de ejecutar.

Por lo tanto, considerando estas variables, se decide recomendar realizar la alternativa 2, pues por una diferencia pequeña en los costos, se obtienen beneficios importantes para la comuna.

## **11.2 Análisis del proyecto escogido**

### **11.2.1 Beneficios**

El proyecto propuesto provoca beneficios ambientales importantes. Como efectos directos se tiene la reducción de la emisión de gases de efecto invernadero y de contaminantes en la comuna, que permiten la conservación del entorno natural. Como efectos indirectos se tienen los beneficios asociados al proceso de reciclaje, principalmente la disminución en el uso de recursos.

En cuanto a los beneficios sociales, el proyecto permitirá la generación de nuevos empleos, que en su mayoría no requieren de estudios previos, lo que se ajusta a la realidad comunal. Además, permitirá sensibilizar a la población por temas ambientales, lo que incentivará cambios de hábitos más responsables con el entorno natural. A su vez, este proyecto considera la instalación de un centro de acopio en Llanada Grande, lo que permitirá que los habitantes del sector más aislado de la comuna también se involucren y participen de la gestión de residuos.

Este proyecto entrega valor a la comuna, potenciando el turismo, que corresponde a una de las principales actividades económicas de la comuna. Al ser un proyecto visible, que se relaciona con la comunidad, muestra las intenciones de la comuna por conservar la riqueza natural existente. Por lo que desde un punto de vista económico, el proyecto es un elemento de competitividad para el desarrollo económico de la comuna. Además, los costos netos asociados son menores a la opción de disponer de los residuos en relleno sanitario. Incluso, si se obtiene financiamiento externo para la inversión del proyecto, se tendrán ingresos por la venta de los reciclables.

Por lo tanto, todos estos beneficios permitirán mejorar la calidad de vida de los habitantes de la comuna y a la sociedad en general.

### **11.2.2 Consideraciones**

De la alternativa escogida es importante considerar aspectos como la ubicación de los centros de acopio y la dirección del viento, debido a los posibles olores generados.

Además, se destaca la importancia de desarrollar un plan de educación ambiental en la comuna, siendo la base para el correcto funcionamiento del proyecto. Es necesario que los habitantes se encuentren informados y sensibilizados con respecto a temas ambientales, para formar hábitos responsables y realizar la segregación de reciclables en los hogares. Sólo de esta manera se podrá llevar a cabo el proyecto, por lo que se debe invertir en actividades de educación ambiental y difusión.

El proyecto considera la recolección de orgánicos sólo en la zona principal de la comuna (zona B), por lo que es importante educar a los habitantes de los otros sectores a eliminar los residuos orgánicos en sus casas. Si bien muchos actualmente realizan esta acción, es importante asegurar que los residuos orgánicos sean eliminados en el origen, para evitar su disposición en el relleno sanitario.

Además, el proyecto no considera la participación de recicladores de base, si no que la recolección de los reciclables queda a cargo de la municipalidad. Esto se debe a que en la actualidad no existen recicladores de base en la comuna, debido a la lejanía a los puntos de reciclaje. Sin embargo, esto puede cambiar según sea conveniente.

En cuanto a las localidades alejadas de los caminos que conectan la comuna, como lo son Sotomó, San Luis, Paso El León y Valle El Frío, queda pendiente proponer soluciones para el traslado de sus residuos desde el lugar de origen a los caminos. De todas formas, la generación de residuos de estos lugares fueron considerados en los cálculos para la evaluación realizada.

Por otra parte, es necesario realizar un estudio de mercado de las empresas de reciclaje del sector. En la actualidad, según lo investigado, no existen en la región plantas de reciclaje, sólo existen empresas que acumulan material y lo transportan a Santiago para ser vendidos. A raíz de la nueva Ley de Reciclaje, el mercado crecerá fuertemente, y es de esperar que se instalen nuevas plantas de reciclaje en estos sectores del país. Resulta necesario estar atentos al movimiento del mercado, con el fin de establecer buenos convenios con empresas de reciclaje.

### **11.2.3 Contexto nacional**

En contexto de la nueva Ley de Reciclaje, la municipalidad puede participar como gestor, creando convenios con sistema de gestión y con recicladores de base, de ser necesario. El Ministerio de Medio Ambiente, mediante decretos supremos, establecerá metas de recolección y valorización de residuos de productos prioritarios, que deberán ser cumplidas por los sistemas de gestión [2]. Se espera que alguna de las metas obligue a los sistemas de gestión a hacerse cargo de los residuos de zonas rurales de cada región. Con esto, los sistemas de gestión preferirán contratar a las municipalidades que ya realicen servicios de recolección y valorización. En este contexto, es conveniente realizar el proyecto y estar preparados para la realización de un convenio con un sistema de gestión.

De todas formas, antes de que se dicten metas que involucren a la zona de Cochamó, para levantar el proyecto, se puede postular al Fondo de Reciclaje recién descrito. En este se puede obtener asistencia técnica en la concepción del proyecto, así como también financiamiento de la inversión y operación. Además, se pueden postular programas de educación ambiental para la promoción de la separación en el origen y la reducción de la generación de residuos.

Hasta el momento el proyecto contempla la gestión de ciertos tipos de residuos, correspondientes a la categoría de envases y embalajes, de los productos prioritarios dictados por la ley de reciclaje. Sin embargo, en etapas posteriores será importante incorporar a la gestión de residuos otros tipos de materiales recuperables.

Por lo tanto, entendiendo el contexto nacional sobre la gestión de residuos, surge este proyecto, con el fin de realizar un primer análisis sobre la situación actual de la comuna en términos de manejo de los residuos y un estudio de prefactibilidad de un proyecto de valorización para la comuna, como base para posteriores trabajos.

## 12 Conclusiones

Para el desarrollo de este trabajo se realiza un diagnóstico de la situación actual de la comuna de Cochamó con respecto al manejo de sus residuos. De éste, se desprende la necesidad de buscar soluciones de gestión de residuos que resuelvan los problemas básicos de cobertura y frecuencia de recolección y que genere opciones de valorización de los residuos, por medio de proyectos de fácil operación y bajo costo.

Con este foco, se eligen las alternativas a evaluar, descartando aquellas que parecen alejarse de la realidad de la comuna. Se escogen opciones de pretratamiento de reciclables en contraste con la situación actual mejorada.

Luego de dimensionar su infraestructura y equipamiento, y calcular su logística de transporte, se evalúan las opciones, con el fin de escoger la más conveniente para la comuna.

A partir de la evaluación ambiental, se concluye que la alternativa con mayores emisiones de gases de efecto invernadero corresponde a la opción de disponer los residuos en relleno sanitario, en comparación a realizar compostaje y pretratamiento de reciclables. Entre las otras dos alternativas no se perciben grandes diferencias.

En cuanto a la evaluación económica, se concluye que a partir del 25-30% de reciclaje de los residuos de la comuna, las alternativas de recolección segregada y pretratamiento de reciclables son más convenientes que disponer los residuos en rellenos sanitarios. Sin embargo, ninguna de las alternativas evaluadas son rentables, obteniendo VANS negativos. Cabe mencionar que futuros estudios pueden cuantificar de manera completa los beneficios sociales asociados al proyecto.

Analizando también las variables no cuantificables, se concluye que la mejor opción para la comuna corresponde a la alternativa 2. Esto se debe, en primer lugar, a la importancia de desarrollar un proyecto que incluya la valorización de los residuos, dado los beneficios ambientales y sociales que conlleva, además del valor que le entrega a la comuna, potenciando el turismo, una de las principales actividades económicas del sector. A su vez, se escoge esta opción por considerar un centro de acopio en el sector cordillerano, permitiendo que los habitantes más aislados y alejados de la zona principal de la comuna, puedan involucrarse con la gestión responsable de los residuos.

Para la alternativa escogida se estima una inversión de MM\$300, costos de operación anual de MM\$58 e ingresos de MM\$36, considerando la recuperación del 30% de los reciclables de la comuna.

Con el fin de alcanzar el porcentaje mínimo de reciclaje (30%) para que el proyecto se justifique económicamente frente a la situación actual mejorada, es fundamental desarrollar programas de educación ambiental en la comuna. El proyecto técnico no es posible de llevar a cabo sin antes el cambio de conducta de la población, que solo se logra por medio de la educación.

Por último, entendiendo el contexto nacional sobre la nueva ley de reciclaje, cobra importancia y sentido la creación de este proyecto.

Por lo tanto se recomienda continuar con la ingeniería básica del proyecto escogido.

## 13 Bibliografía

- [1] RONDÓN TORO, Estefani et al. 2016. Guía general para la gestión de residuos sólidos domiciliarios [en línea]. ISSN 2518-3923. <<http://www.cepal.org/es/publicaciones/40407-guia-general-la-gestion-residuos-solidos-domiciliarios>> [consulta: 20 de Agosto 2017].
- [2] CHILE. Ministerio del Medio Ambiente. 2016. Ley 20.920: ley marco para la gestión de residuos, la responsabilidad extendida del productor y fomento al reciclaje. 1 de junio de 2016.
- [3] MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. Informe del Estado del Medio Ambiente [en línea]. 2011. <[http://www.mma.gob.cl/1304/articles-52016\\_Capitulo\\_3.pdf](http://www.mma.gob.cl/1304/articles-52016_Capitulo_3.pdf)> [consulta: 20 de Agosto 2017].
- [4] CUCCHIELLA, Federica et al. 2017. Sustainable waste management: Waste to energy plant as an alternative to landfill. *Energy Conversion and Management*. 131: 18–31.
- [5] ADAPT CHILE. Antecedentes del manejo y gestión de residuos en Chile [en línea]. <<https://circabc.europa.eu/sd/a/05d21118-7d52-47f9-89bd-1b7c716a1e62/Introduction%252c%20Antecedentes%20del%20Manejo%20y%20Gesti%25c3%25b3n%20de%20Residuos%20en%20Chile.pdf>> 2016. [consulta: 20 de Agosto 2017].
- [6] MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. 2015. Segundo reporte del estado del medio ambiente. [en línea]. 158 p. ISBN 9789567204526. <<http://sinia.mma.gob.cl/residuos/>> [consulta: 20 de Agosto 2017].
- [7] CHILE RESIDUOS. Sistema Nacional de declaración de Residuos [en línea]. <<http://www.chileresiduos.cl/articulos/sistema-nacional-de-declaracion-de-residuos-sinader-preparandose-para-las-nuevas-exigencias/>> [consulta: 20 de Agosto 2017].
- [8] COMISIÓN NACIONAL DE MEDIO AMBIENTE. Primer Reporte del Manejo de Residuos Sólidos en Chile [en línea]. 2010. <[http://www.sinia.cl/1292/articles-49564\\_informe\\_final.pdf](http://www.sinia.cl/1292/articles-49564_informe_final.pdf)> [consulta: 20 de Agosto 2017].
- [9] CHILE. Ministerio de Relaciones Exteriores. 2005. Decreto 349: Promulga el Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático y sus anexos A y B. 16 de febrero 2005.
- [10] CHILE. Ministerio de Relaciones Exteriores. 2005. Decreto 30: Promulga el Acuerdo de París, adoptado en la vigésimo primera reunión de la Conferencia de las Partes de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático. 23 de mayo 2017.
- [11] FUNDACION DE LA ENERGÍA DE LA COMUNIDAD DE MADRID. 2010. Guía de valorización energética de residuos [en línea]. <<https://www.fenercom.com/pdf/publicaciones/Guia-de-valorizacion-energetica-de-residuos-fenercom-2010.pdf>> [consulta: 20 de Agosto 2017].

- [12] INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICAS. Crecimiento de la población [en línea]. sin fecha. <<http://www.ine.cl/estadisticas/demograficas-y-vitales>> [consulta: 20 de Agosto 2017].
- [13] I. MUNICIPALIDAD DE COCHAMÓ. 2012. Plan de Desarrollo Comunal Cochamó 2012 - 2020 [en línea]. <[http://www.sinia.cl/1292/articles-31698\\_recurso\\_11.pdf](http://www.sinia.cl/1292/articles-31698_recurso_11.pdf)> [consulta: 20 de Agosto 2017].
- [14] CHILE NATIVO. Highlands of Cochamó Valley [en línea]. <[http://www.chilenativo.travel/ing/expedicion.asp?actividad=2&ID\\_sub\\_expeditions=54](http://www.chilenativo.travel/ing/expedicion.asp?actividad=2&ID_sub_expeditions=54)> [consulta: 20 de Agosto 2017].
- [15] I. MUNICIPALIDAD DE COCHAMÓ. 2015. Plan Regulador Comunal [en línea]. <[http://eae.mma.gob.cl/uploads/C69\\_1er\\_IA\\_PRC\\_Cochamo.pdf](http://eae.mma.gob.cl/uploads/C69_1er_IA_PRC_Cochamo.pdf)> [consulta: 20 de Agosto 2017].
- [16] SISTEMA NACIONAL DE INFORMACIÓN AMBIENTAL. Indicadores para Gestión Municipal de Residuos [en línea]. 2001. <[http://www.sinia.cl/1292/articles-31698\\_recurso\\_11.pdf](http://www.sinia.cl/1292/articles-31698_recurso_11.pdf)> [consulta: 20 de Agosto 2017].
- [17] GESCAM COSULTORES AMBIENTALES. 2012. Estudio acerca de la industrialización de residuos y de la forma de desarrollar una política de estado para el tema.
- [18] KORAI, Muhammad Safar et al. 2016. Optimization of waste to energy routes through biochemical and thermochemical treatment options of municipal solid waste in Hyderabad, Pakistan. Energy Conversion and Management.
- [19] DIVISIÓN DE EVALUACIÓN SOCIAL DE INVERSIONES MIDESO. 2013. Metodología de Formulación y Evaluación Socioeconómica de Proyectos de Valorización de Residuos Municipales [en línea]. <<http://www.santiagorecicla.cl/documentos/publicaciones/>> [consulta: 20 de Agosto 2017].
- [20] PAVEZ, ROSA ANDREA FARFAN. 2010. Propuesta de Gestión y Manjeo de los Residuos Sólidos Domiciliarios de la Localidad de Inio, Comuna de Quellón. Universidad de Chile.
- [21] FRENK, Pamela. Evaluación económica de proyectos de valorización de RSD - reciclaje [en línea]. 2012. <[http://www.subdere.gov.cl/sites/default/files/documentos/6-presentacion\\_ministerio\\_de\\_desarrollo\\_social\\_0.pdf](http://www.subdere.gov.cl/sites/default/files/documentos/6-presentacion_ministerio_de_desarrollo_social_0.pdf)> [consulta: 20 de Agosto 2017].
- [22] CUETO CODORNIÚ, Andrés Nicolás. 2017. Evaluación de tecnologías para la reutilización, valorización y disposición de residuos orgánicos. Universidad de Chile.
- [23] SISTEMA NACIONAL DE INFORMACIÓN AMBIENTAL. Tecnologías de

- Tratamiento y Disposición Final de Residuos Sólidos Domiciliarios [en línea]. 2001. <[http://www.sinia.cl/1292/articles-31698\\_recurso\\_5.pdf](http://www.sinia.cl/1292/articles-31698_recurso_5.pdf)> [consulta: 20 de Agosto 2017].
- [24] EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY. 2013. Highest Recycling Rates in Austria & Germany – but UK & Ireland Show Fastest Increase [en línea]. : 1–6. <<http://www.eea.europa.eu/pressroom/newsreleases/highest-recycling-rates-in-austria>>[consulta: 20 de Agosto 2017].
- [25] PILAR, Roman et al. 2013. Manual Del Compostaje Del Agricultor [en línea]. 211 p. ISBN 9789253078448. <[www.fao.org/publications](http://www.fao.org/publications)> [consulta: 20 de Agosto 2017].
- [26] INSTITUTO SUPERIOR DEL MEDIO AMBIENTE. Análisis del ciclo de vida [en línea]. <<http://www.ismedioambiente.com/programas-formativos/analisis-del-ciclo-de-vida-conceptos-y-metodologia>> [consulta: 20 de Agosto 2017].
- [27] MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. Huella de carbono [en línea]. <<http://portal.mma.gob.cl/cc-02-7-huella-de-carbono/>> [consulta: 20 de Agosto 2017].
- [28] DEPARTMENT OF BUSINESS ENERGY & INDUSTRIAL STRATEGY, UK Gov. 2016. 2016 Government GHG Conversion Factors for Company Reporting: Methodology Paper for Emission Factors [en línea]. (September): 1–112. <<https://www.gov.uk/government/publications/greenhouse-gas-reporting-conversion-factors-2016>> [consulta: 20 de Agosto 2017].
- [29] DIVISIÓN DE EVALUACIÓN SOCIAL DE INVERSIONES MIDESO. 2013. Metodología de Preparación y Evaluación de Proyectos de Residuos Sólidos Domiciliarios y Asimilables [en línea]. <<http://www.santiagorecicla.cl/documentos/publicaciones/>> [consulta: 20 de Agosto 2017].
- [30] SERVICIO DE IMPUESTOS INTERNOS. Vida útil de los bienes físicos del activo inmovilizado [en línea]. <[http://www.sii.cl/pagina/valores/bienes/tabla\\_vida\\_enero.htm](http://www.sii.cl/pagina/valores/bienes/tabla_vida_enero.htm)> 2003 [consulta: 20 de Agosto 2017].
- [31] SISTEMA NACIONAL DE INFORMACIÓN MUNICIPAL. Datos Municipales [en línea]. <[http://datos.sinim.gov.cl/informacion\\_municipal.php](http://datos.sinim.gov.cl/informacion_municipal.php)> [consulta: 20 de Agosto 2017].
- [32] ALDUNATE, Eduardo. Precios Sociales 2017 [en línea]. 2017. <[https://www.google.com.co/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=8&cad=rja&uact=8&ved=0CEgQFjAH&url=http://www.cepal.org/ilpes/noticias/paginas/8/13508/d2evaluacionsocialpreciossociales.ppt&ei=a95NVNKYM5e7ggTHqoHoDQ&usq=AFQjCNGlrF\\_XHQIg-iDPEDD1UIzd5mCs8g&](https://www.google.com.co/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=8&cad=rja&uact=8&ved=0CEgQFjAH&url=http://www.cepal.org/ilpes/noticias/paginas/8/13508/d2evaluacionsocialpreciossociales.ppt&ei=a95NVNKYM5e7ggTHqoHoDQ&usq=AFQjCNGlrF_XHQIg-iDPEDD1UIzd5mCs8g&)> [consulta: 20 de Agosto 2017].
- [33] MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. Reglamento del fondo para el Reciclaje [en línea]. <[http://leydereciclaje.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2017/06/REGLAMENTO\\_FONDO\\_PARA\\_EL\\_RECCICLAJE\\_consulta.pdf](http://leydereciclaje.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2017/06/REGLAMENTO_FONDO_PARA_EL_RECCICLAJE_consulta.pdf)> [consulta: 20 de Agosto 2017].



- [34] ADUANAS CHILE. Preguntas Frecuentes Importaciones [en línea]. <<https://www.aduana.cl/preguntas-frecuentes-importaciones/aduana/2007-02-28/161116.html>> [consulta: 20 de Agosto 2017].
- [35] MERCADO PÚBLICO. 2015. Resolución de Acta de Adjudicación [en línea]. <<http://www.mercadopublico.cl/Procurement/Modules/RFB/StepsProcessAward/PreviewAwardAct.aspx?qs=SW10MJ6ECXwZufvryvAGN11nnZpF5IgxEQP6e7zBz7c=>>> [consulta: 20 de Agosto 2017].
- [36] SODIMAC. Contenedor 240 l con tapa y ruedas Kleine [en línea]. <<http://www.sodimac.cl/sodimac-cl/product/2980029/Contenedor-240-l-con-tapa-y-ruedas/2980029>> [consulta: 20 de Agosto 2017].
- [37] PORTAL TERRENO. Venta directa de terreno en Cochamó [en línea]. <<https://www.portalterreno.com/ficha/79236/venta-directa-de-terreno-en-cochamo>> [consulta: 20 de Agosto 2017].
- [38] ARQUITECTURA MAURICIO MORENO EIRL. Presupuesto Galpón [en línea]. <<https://empresas.habitissimo.cl/pro/arquitectura-mauricio-moreno-eirl-584b1c6046005#1>> [consulta: 20 de Agosto 2017].
- [39] PORTAL INMOBILIARIO. Llanada Grande s/n [en línea]. <<http://www.portalinmobiliario.com/venta/parcela/cochamo-los-lagos/2827751-llanada-grande-sn-uda>> [consulta: 20 de Agosto 2017].
- [40] SODIMAC. Balanza electrónica 300 kilos DY618 Maigas [en línea]. <<http://www.sodimac.cl/sodimac-cl/product/1612204/Balanza-electronica-300-kilos-DY618/1612204>> [consulta: 20 de Agosto 2017].
- [41] SODIMAC. Traspaleta 2500 kg Itaka [en línea]. <<http://www.sodimac.cl/sodimac-cl/product/1893521/Traspaleta-2500-kg/1893521>> [consulta: 20 de Agosto 2017].
- [42] ENEL. ¿Cuál es el valor del kWh? [en línea]. <<https://www.eneldistribucion.cl/preguntas-frecuentes/valor-kwh>> [consulta: 20 de Agosto 2017].
- [43] SODIMAC. Pack 10 sacos de escombros reforzado Bauker [en línea]. <<http://www.sodimac.cl/sodimac-cl/product/2042061/Pack-10-sacos-de-escombros-reforzado/2042061>> [consulta: 20 de Agosto 2017].
- [44] ENEL. 2015. Reducciones de hasta 10% en las cuentas de energía se pueden alcanzar utilizando artefactos eficientes etiquetados, modificando hábitos y eliminando el “consumo vampiro” [en línea]. <<https://www.eneldistribucion.cl/la-compania/reducciones-10-las-cuentas-energia-se-pueden-alcanzar-utilizando-artefactos-eficientes-etiquetados-modificando-habitos-y-eliminando-consumo-vampiro>> [consulta: 20 de Agosto 2017].
- [45] GARIBALDI. Compactadora Enfardadora Vertical Garibaldi - MACFAB 75 [en línea].

<<http://www.garibaldi.cl/cl/productos.php?id=11&idsub=32&idproducto=20>> [consulta: 20 de Agosto 2017].

- [46] LA TERCERA. sin fecha. El valor de la basura [en línea]. <<http://diario.latercera.com/edicionimpresa/el-valor-de-la-basura/>> [consulta: 20 de Agosto 2017].
- [47] EL MERCURIO. Compro cartón, papel, revistas. Económicos [en línea]. <<https://www.economicos.cl/servicios/compro-carton-papel-revistas-etc-codAAE6N4Y.html>> [consulta: 20 de Agosto 2017].
- [48] EL MERCURIO. Compro Latas de bebidas vacias. Económicos [en línea]. <<https://www.economicos.cl/productos/compro-latas-de-bebidas-vacias-codAAENB3I.html>> [consulta: 20 de Agosto 2017].

## 14 Anexo

### A. Disposición de RSD en relleno sanitario La Laja

Los siguientes datos (Tabla 37) corresponden a la masa de residuos dispuestos en el relleno sanitario La Laja durante un año, información obtenida mediante las facturas entregadas por la empresa Interaseo S.A. a la municipalidad de Cochamó.

Tabla 37: Masa de residuos dispuestos en relleno sanitario.

Mes	Masa [ton]
may-16	32,02
jun-16	34,30
jul-16	31,19
ago-16	37,12
sept-16	40,52
oct-16	32,68
nov-16	44,82
dic-16	50,37
ene-17	59,83
feb-17	69,83
mar-17	52,45
abr-17	41,23
<b>Total anual</b>	<b>526,36</b>
<b>Promedio mensual</b>	<b>43,86</b>

### B. Cobertura de recolección de RSD

A partir de información entregada por la municipalidad sobre población por agrupación habitacional de la comuna (Tabla 38) y conociendo los recorridos del camión recolector, se estima una cobertura de recolección del 80%. Esto se debe a que los sectores de San Luis, Sotomó, Paso El León y Valle el Frío no son parte de la cobertura de recolección. Además se considera que en los sectores de Llanada Grande y Segundo Corral la cobertura es del 50%, entendiéndose que aún existen microbasurales y que la frecuencia de recolección en el sector es baja.

Tabla 38: Distribución de la población por agrupación habitacional.

Agrupación habitacional	Nº habitantes	Habitantes [%]	Cobertura [%]
Pocoihuen	411	10,3	10,3
Cochamó Pb.	181	4,5	4,5
Cochamó	492	12,3	12,3
Cochamó Rural	313	7,8	7,8

Pucheguín	128	3,2	3,2
Cascajal	174	4,4	4,4
Alto Puelo	336	8,4	8,4
Puelo Bajo	238	6,0	6,0
Puelo Bajo Rural	175	4,4	4,4
Ignacio Carrera Pinto	81	2,0	2,0
Las Rosas	14	0,4	0,4
Rincón Nevado	33	0,8	0,8
San Luis	69	1,7	0,0
Sotomó	241	6,0	0,0
Yates	132	3,3	3,3
Llaguepe	193	4,8	4,8
Paso El León	121	3,0	0,0
Valle El Frío	77	1,9	0,0
Llanada Grande	404	10,1	5,1
Segundo Corral	187	4,7	2,3
Total	4.000	100	80

### C. Producción per cápita de RSD

La producción per cápita de RSD se calcula según:

$$PPC \left[ \frac{\text{kg}}{\text{hab} \cdot \text{día}} \right] = \frac{TAD \left[ \frac{\text{ton}}{\text{año}} \right] \cdot 1.000 \left[ \frac{\text{kg}}{\text{ton}} \right]}{P [\text{hab}] \cdot 365 \left[ \frac{\text{días}}{\text{año}} \right]}$$

Dónde:

PPC: Producción per cápita diaria.

TAD: Total de toneladas anuales dispuestas en relleno sanitario.

P: Población atendida por el servicio de recolección y disposición.

$$PPC \left[ \frac{\text{kg}}{\text{hab} \cdot \text{día}} \right] = \frac{526,36 \left[ \frac{\text{ton}}{\text{año}} \right] \cdot 1.000 \left[ \frac{\text{kg}}{\text{ton}} \right]}{3.220 [\text{hab}] \cdot 365 \left[ \frac{\text{días}}{\text{año}} \right]} = 0,44$$

## D. Árbol de decisiones

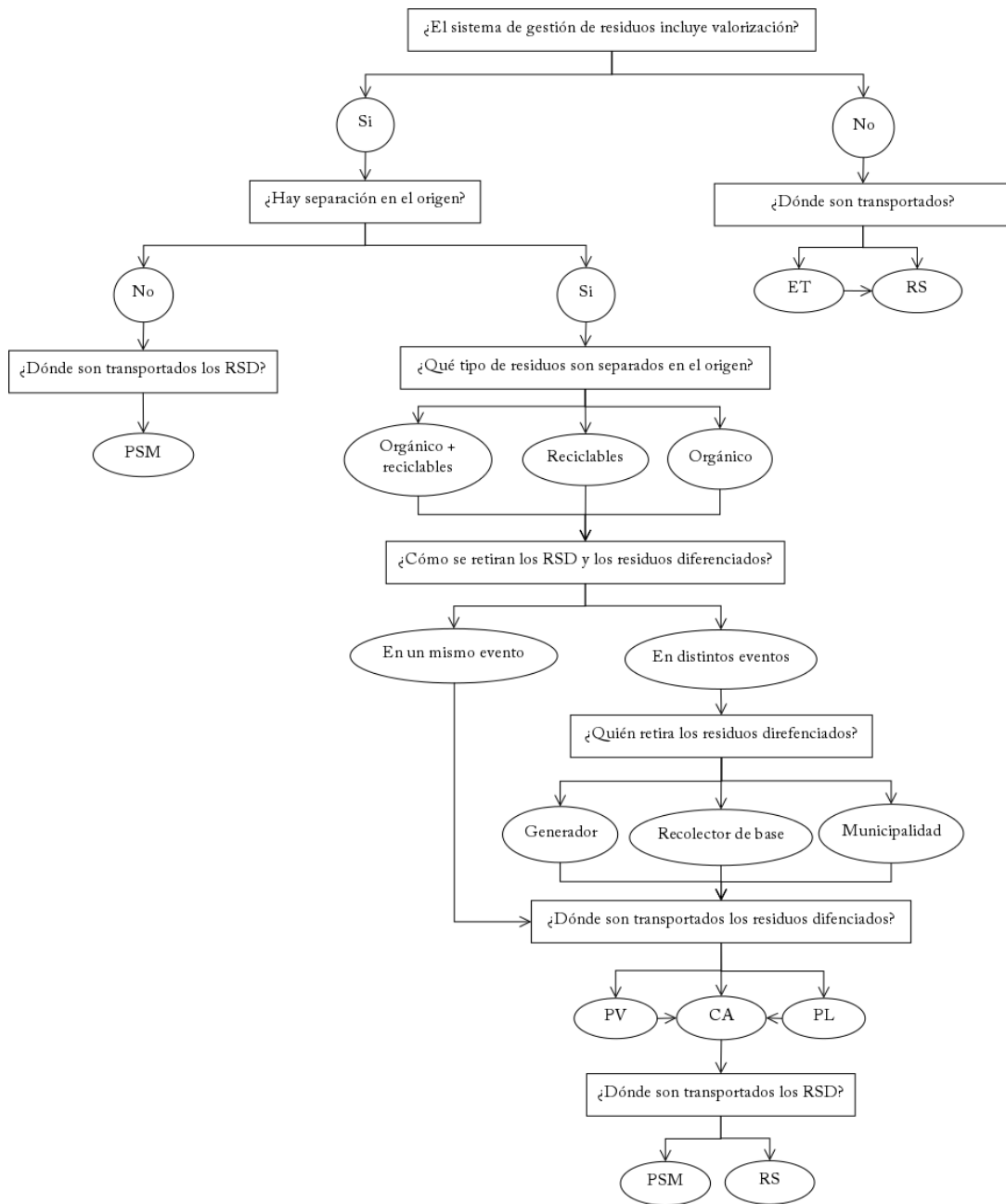


Figura 39: Árbol de decisiones

### Nomenclatura:

- PSM: Planta de Separación Mecanizada
- ET: Estación de Transferencia
- RS: Relleno Sanitario
- CA: Centro de Acopio
- PV: Punto Verde
- PL: Punto Limpio

## E. Tasa de crecimiento anual de la población

Según información publicada por el Instituto Nacional de Estadísticas (INE) se tiene la actualización de la población para los años 2002–2012 y las proyecciones para los años 2013–2020 (Tabla 39) [12]. Con esto se calcula un promedio de la tasa de crecimiento anual, obteniendo un -0,82%, lo que muestra que existe un decrecimiento poblacional en la comuna.

Tabla 39: Tasa de crecimiento de población de la comuna de Cochamó

Año	Población	
2002	4.524	
2003	4.517	-0,15%
2004	4.497	-0,44%
2005	4.475	-0,49%
2006	4.448	-0,60%
2007	4.419	-0,65%
2008	4.389	-0,68%
2009	4.355	-0,77%
2010	4.317	-0,87%
2011	4.285	-0,74%
2012	4.246	-0,91%
2013	4.203	-1,01%
2014	4.159	-1,05%
2015	4.124	-0,84%
2016	4.078	-1,12%
2017	4.030	-1,18%
2018	3.990	-0,99%
2019	3.939	-1,28%
2020	3.899	-1,02%
	<b>Promedio</b>	<b>-0,82%</b>

## F. Caso Base

Considerando una población actual de 4.030 habitantes, una PPC de 0,77 y 0,45 [kg/hab/día] para CBI y CBO, respectivamente, el horizonte de evaluación de 20 años, la tasa de crecimiento de la población de -0,82% y la tasa de crecimiento de la PPC de 2,5%, se obtienen los flujos a trabajar según las siguientes ecuaciones:

$$CBI = [PPC_{actual} \cdot (1 + TC_P)^{he}] \cdot [P_{actual} \cdot (1 + TC_{PPC})^{he}] \cdot \frac{30}{1.000}$$

$$CBO = \frac{\sum_{i=1}^{he} [PPC_{actual} \cdot (1 + TC_P)^i] \cdot [P_{actual} \cdot (1 + TC_{PPC})^i] \cdot \frac{30}{1.000}}{he}$$

Dónde:

*CBI*: Caso Base Inversión [ton/mes]

*CBO*: Caso Base Operación [ton/mes]

*PPC<sub>actual</sub>*: Producción per cápita actual [kg/hab/día]

*TC<sub>p</sub>*: Tasa de crecimiento de la población [%]

*P<sub>actual</sub>*: Población actual de la comuna [hab]

*TC<sub>PPC</sub>*: Tasa de crecimiento de la PPC [%]

*he*: Horizonte de evaluación del proyecto [años]

Reemplazando los datos se obtiene:

$$CBI = [0,77 \cdot (1 + 2,5\%)^{20}] \cdot [4.030 \cdot (1 - 0,82\%)^{20}] \cdot \frac{30}{1.000} = 130,06 \left[ \frac{ton}{mes} \right]$$

$$CBO = \frac{\sum_{i=1}^{20} [0,45 \cdot (1 + 2,5\%)^i] \cdot [0,45 \cdot (1 - 0,85\%)^i] \cdot \frac{30}{1.000}}{20} = 64,62 \left[ \frac{ton}{mes} \right]$$

Además, se tiene el desglose para cada año del periodo del proyecto, para CBI (Tabla 40) y CBO (Tabla 41).

Tabla 40: Generación RSD 2017-2027 en la comuna de Cochamó (CBI).

	Año	Habitantes	PPC [kg/hab/día]	Generación RSD [ton/mes]
0	2017	4.030	0,77	93,62
1	2018	3.997	0,79	95,18
2	2019	3.964	0,81	96,75
3	2020	3.931	0,83	98,36
4	2021	3.899	0,85	99,99
5	2022	3.867	0,88	101,64
6	2023	3.835	0,90	103,33
7	2024	3.804	0,92	105,04
8	2025	3.772	0,94	106,78
9	2026	3.741	0,97	108,55
10	2027	3.711	0,99	110,35
11	2028	3.680	1,02	112,18
12	2029	3.650	1,04	114,04
13	2030	3.620	1,07	115,93
14	2031	3.590	1,09	117,85
15	2032	3.561	1,12	119,80
16	2033	3.531	1,15	121,79
17	2034	3.502	1,18	123,81
18	2035	3.473	1,21	125,86
19	2036	3.445	1,24	127,94
20	2037	3.417	1,27	130,06

Tabla 41: Generación RSD 2017-2027 en la comuna de Cochamó (CBO).

Año		Habitantes	PPC [kg/hab/día]	Generación RSD [ton/mes]
0	2017	4.030	0,45	54,14
1	2018	3.997	0,46	55,03
2	2019	3.964	0,47	55,95
3	2020	3.931	0,48	56,87
4	2021	3.899	0,49	57,82
5	2022	3.867	0,51	58,77
6	2023	3.835	0,52	59,75
7	2024	3.804	0,53	60,74
8	2025	3.772	0,55	61,74
9	2026	3.741	0,56	62,77
10	2027	3.711	0,57	63,81
11	2028	3.680	0,59	64,87
12	2029	3.650	0,60	65,94
13	2030	3.620	0,62	67,03
14	2031	3.590	0,63	68,14
15	2032	3.561	0,65	69,27
16	2033	3.531	0,66	70,42
17	2034	3.502	0,68	71,59
18	2035	3.473	0,70	72,78
19	2036	3.445	0,72	73,98
20	2037	3.417	0,73	75,21
			promedio	64,62

## G. Generación por tipo de material y por zona

De la información encontrada en bibliografía sobre la composición de residuos en la localidad de Inio, Quellón [20], se tienen composiciones distintas para cada temporada. Se decide trabajar con los residuos generados en época de primavera/verano, dado que corresponde al caso más extremo, donde existe mayor generación de residuos. En este trabajo, la generación de pilas parece estar sobredimensionada, por lo que se supone una generación de 0,2 kg/día considerando los 125 habitantes de esa localidad.

Con estos datos, se divide el flujo generado por tipo de material por el total generado, obteniendo la proporción de la composición másica de los residuos (Tabla 42).



Tabla 42: Cálculo composición másica de residuos

Tipo de residuos	Generación RSD [kg/día]	Composición [%]
Materia orgánica	40,58	43,0%
Plástico	15,38	16,3%
Papeles y cartones	9,29	9,8%
Vidrios	4,35	4,6%
Pilas	0,2	0,2%
Metales	12,58	13,3%
Textiles	6,1	6,5%
Otros	5,89	6,2%
<b>Total</b>	<b>94,37</b>	<b>100</b>

Además, conociendo la distribución de la población por agrupación habitacional (Tabla 38) se calcula el porcentaje de habitantes por zona.

Tabla 43: Proporción de habitantes por zona

	Zona A	Zona B	Zona C	Zona D	Total
Habitantes [%]	10,3%	54,1%	15,9%	19,7%	100%

Con esto se calcula la generación de RSD total por zona, multiplicando la proporción de habitantes por el Caso Base Inversión.

Tabla 44: Generación de residuos por zona (CBI)

	Zona A	Zona B	Zona C	Zona D	Total
Habitantes [%]	10,3%	54,1%	15,9%	19,7%	100%
<b>RSD total [ton/mes]</b>	<b>13,36</b>	<b>70,40</b>	<b>20,65</b>	<b>25,66</b>	<b>130,06</b>

Luego, multiplicando la composición de los residuos (Tabla 42) por el flujo de residuos generados por zona (Tabla 44), se obtiene el flujo de cada material reciclable y de RSD para cada zona (Tabla 45).

Tabla 45: Generación de residuos (CBI)

	Generación de residuos (CBI) [ton/mes]					
	% composición	Zona A	Zona B	Zona C	Zona D	Total
Materia orgánica	43,0%	5,75	30,27	8,88	11,03	<b>55,93</b>
Plásticos	16,3%	2,18	11,47	3,37	4,18	<b>21,20</b>
Papeles y cartones	9,8%	1,32	6,93	2,03	2,53	<b>12,80</b>
Vidrios	4,6%	0,62	3,24	0,95	1,18	<b>6,00</b>
Metales	13,3%	1,78	9,38	2,75	3,42	<b>17,34</b>
RSD	12,9%	1,73	9,09	2,67	3,31	<b>16,80</b>
<b>Total</b>	<b>100,0%</b>	<b>13,36</b>	<b>70,40</b>	<b>20,65</b>	<b>25,66</b>	<b>130,06</b>

Lo mismo se realiza con el Caso Base Operación, obteniendo la generación de RSD total por zona (Tabla 46) y el flujo por tipo de material generado (Tabla 47).

Tabla 46: Generación de residuos por zona (CBO)

	Zona A	Zona B	Zona C	Zona D	Total
Habitantes [%]	10,3%	54,1%	15,9%	19,7%	100%
RSD total [ton/mes]	6,64	34,98	10,26	12,75	64,62

Tabla 47: Generación de residuos (CBO)

	Generación de residuos (CBO) [ton/mes]					
	% composición	Zona A	Zona B	Zona C	Zona D	Total
Materia orgánica	43,0%	2,86	15,04	4,41	5,48	27,79
Plásticos	16,3%	1,08	5,70	1,67	2,08	10,53
Papeles y cartones	9,8%	0,65	3,44	1,01	1,25	6,36
Vidrios	4,6%	0,31	1,61	0,47	0,59	2,98
Metales	13,3%	0,89	4,66	1,37	1,70	8,61
RSD	12,9%	0,86	4,52	1,33	1,65	8,35
Total	100,0%	6,64	34,98	10,26	12,75	64,62

## H. Método de resolución

Para el dimensionamiento del equipamiento e infraestructura y la logística de recolección se siguen la siguiente estrategia heurística:

1. Decidir capacidades de los camiones (en peso y volumen) y suponer sus eficiencias. Con esto se determina la capacidad máxima efectiva del camión.
2. Calcular la acumulación por día de reciclables y RSD en cada zona.
3. Estimar para cada zona la frecuencia de recolección de reciclables y RSD, según corresponda, que permita llenar el camión lo más cercano a su máxima capacidad volumétrica, sin superarla, pero asegurándose de llevar todo lo acumulado en esa zona (si la acumulación en la zona hasta el día anterior más la generación de residuos del día actual supera la capacidad del camión, entonces debo realizar el viaje hoy en la mañana). En el caso de RSD, éstos son enviados directamente a Relleno Sanitario, por lo que con esto también se determina la frecuencia de su salida.
4. Establecer un máximo de días de frecuencia de recolección. Si alguna zona supera éste valor, la frecuencia de recolección será el máximo establecido, y el camión no funcionará a su máxima capacidad.
5. En el caso de superar el máximo de días de recolección, existe la opción de hacer un mismo viaje de recolección para dos zonas distintas, con el fin de aprovechar la capacidad del camión.
6. Estimar la eficiencia en capacidad del camión (con respecto a la eficiencia máxima efectiva calculada).
7. Calcular la capacidad volumétrica de los contenedores como la máxima acumulación de reciclables y descarte en cada zona. Ésta debe ser igual o menor a la capacidad máxima de los camiones.

8. Calcular la acumulación por día de reciclables y compostables en el/los Centro/s de Acopio/s, considerando la llegada de las distintas zonas.
9. Calcular la acumulación por día de reciclables descartados en el/los Centro/s de Acopio/s.
10. Obtener la frecuencia de salida de reciclables enfardados desde el/los Centro/s de Acopio/s, considerando completar la capacidad másica máxima del camión (el transporte de fardos queda limitado por la capacidad másica del camión, pues al llenar la capacidad volumétrica del camión con fardos se supera la capacidad másica). La eficiencia en este caso será del 100%, dado que la acumulación en el Centro de Acopio puede superar la capacidad del camión.
11. Calcular la capacidad de almacenamiento de el/los Centro/s de Acopio/s como la máxima acumulación de reciclables y descarte.
12. Calcular la cantidad de viajes anuales de cada una de las trayectorias de acuerdo a la frecuencia calculada.

Para realizar cada uno de estos cálculos, se utiliza el software Excel, considerando un año completo (365 días). Para cada día se calcula la acumulación de residuos en contenedores y centros de acopio, se determina si es necesario realizar viaje (dependiendo de la acumulación y la capacidad del camión) y las eficiencias del camión si es que ese día se realiza viaje.

Con las siguientes ecuaciones se ejemplifican los cálculos realizados para cada uno de los recorridos de cada alternativa. En este caso se muestra el recorrido desde la zona D al Centro de Acopio Llanada Grande en la recolección de reciclables y el recorrido del Centro de Acopio Llanada Grande al Centro de Acopio Cochamó, en el transporte de fardos (Alternativa 2).

Trayecto Zona D - CA Llanada Grande

$$AD_0 = 0$$

$$AD_i [m^3] = \begin{cases} AD_{i-1} + GD, & \text{Si } VD_{CA2i} = 0 \\ GD, & \sim \end{cases}$$

$$VD_{CA2i} = \begin{cases} 1, & \text{Si } AD_{i-1} + GD \geq CR_v \\ 0, & \sim \end{cases}$$

$$ED_{CA2i} = \begin{cases} \frac{AD_{i-1}}{CR_v}, & VD_{CA2i} = 1 \\ 0, & \sim \end{cases}$$

Donde:

$AD_i$ : Acumulación de reciclables en la Zona D en el día  $i$  [ $m^3$ ].

$GD$ : Generación de reciclables por día en la Zona D [ $m^3$ ].

$VD_{CA2i}$ : Si se realiza viaje de la Zona D al Centro de Acopio Llanada Grande.

$MaxD_i$ : Si se supera el máximo de días establecido (30 días).

$ED_{CA2i}$ : Eficiencia de capacidad del camión en el viaje de la Zona D al Centro de Acopio Llanada Grande en el día  $i$  [%].

$CR_v$ : Capacidad volumétrica del camión de reciclables [ $m^3$ ].

## Trayecto CA Llanada Grande – CA Cochamó

$$\begin{aligned} ACA2_0 &= 0 \\ CR_m &= 7 \end{aligned}$$

$$ACA2_i = (1 - Des) \cdot [VD_{CA2_i} \cdot (AD_{i-1} - (AD_i - GD)) \cdot DS + ACA2_{i-1} - VCA2_{CA1_i} \cdot CR_m]$$

$$VCA2_{CA1_i} = \begin{cases} 1, & ACA2_{i-1} \geq CR_m \\ 0, & \sim \end{cases}$$

$$ECA2_{CA1_i} = \begin{cases} 100\%, & Si VCA2_{CA1_i} = 1 \\ 0, & \sim \end{cases}$$

Donde:

$ACA2_i$ : Acumulación de reciclables en el Centro de Acopio Llanada Grande en el día  $i$  [t].

$Des$ : Descarte de reciclables [%].

$DS$ : Densidad residuos [t/m<sup>3</sup>]

$CR_m$ : Capacidad másica del camión de reciclables [ton].

$VCA2_{CA1_i}$ : Si se realiza viaje del Centro de Acopio Llanada Grande al Centro de Acopio Cochamó.

$ECA2_{CA1_i}$ : Eficiencia de capacidad del camión en el viaje del Centro de Acopio Llanada Grande al Centro de Acopio Cochamó.

## I. Balances de masa

### I.1. Caso Base Inversión

En primer lugar, en la zonas A, D y C no se tratará la materia orgánica, por lo que se suman al flujo de RSD (Tabla 48).

Tabla 48: Flujo de residuos posibles de tratar (CBI)

	Flujo de residuos (CBI) [ton/mes]				
	Zona A	Zona B	Zona C	Zona D	Total
Materia orgánica	0,00	30,27	0,00	0,00	30,27
Plásticos	2,18	11,47	3,37	4,18	21,20
Papeles y cartones	1,32	6,93	2,03	2,53	12,80
Vidrios	0,62	3,24	0,95	1,18	6,00
Metales	1,78	9,38	2,75	3,42	17,34
RSD	7,47	9,09	11,55	14,35	42,46
<b>Total</b>	<b>13,36</b>	<b>70,40</b>	<b>20,65</b>	<b>25,66</b>	<b>130,06</b>

Para dimensionar el equipamiento e infraestructura se asume el reciclaje del 60% de los residuos generados, que corresponde a 78,04 ton/mes de reciclables y compost. Para obtener la

proporción de separación en el origen de RSD y material reciclable se realiza un balance de masa, esquematizado en la Figura 40.

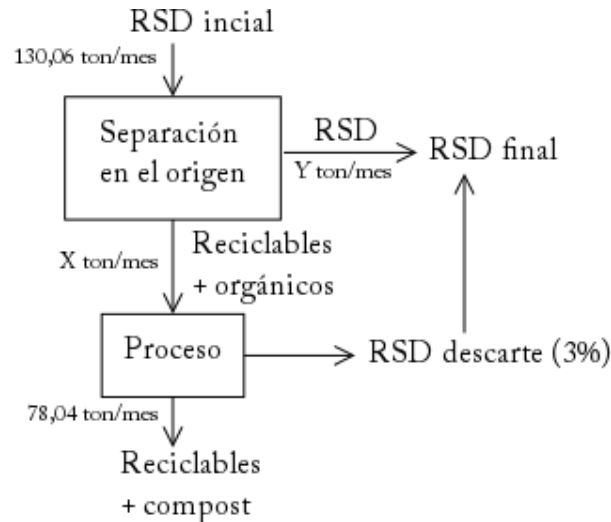


Figura 40: Diagrama de flujos (CBI/60%)

Suponiendo que se descarta el 3% de residuos en el proceso, se calculan los flujos provenientes de la separación en el origen.

$$78,04 \left[ \frac{\text{ton}}{\text{mes}} \right] = (1 - 3\%) \cdot X \left[ \frac{\text{ton}}{\text{mes}} \right]$$

$$\rightarrow X = 80,45 \left[ \frac{\text{ton}}{\text{mes}} \right]$$

$$Y = 130,06 - 80,45 = 49,61 \left[ \frac{\text{ton}}{\text{mes}} \right]$$

Con esto se obtiene un flujo de 80,45 ton de materiales reciclables a tratar y 49,61 ton de RSD que se van directamente a relleno sanitario.

Además, se calcula el porcentaje de material separado en el origen del total de reciclables generados. Para esto se suma el flujo de cada material reciclable (Tabla 48), obteniendo un flujo total de 87,61 ton de reciclables posibles a tratar. Con esto se calcula:

$$\% \text{ separación} = \frac{80,45}{87,61} = 91,83\%$$

Esto significa que el 91,83% de los materiales reciclables generados son separados en el origen para ser enviados a proceso. Este porcentaje obtenido se multiplica por el flujo de cada tipo de material generado, obteniendo los flujos de RSD a disponer y de reciclables a tratar, por zona (Tabla 49).

Tabla 49: Flujo de RSD y reciclables por zona (CBI/60%)

	Flujo de residuos (CBI/60%) [ton/mes]					
	% separación	Zona A	Zona B	Zona C	Zona D	Total
Materia orgánica	91,83%	0,00	27,80	0,00	0,00	27,80
Plásticos	91,83%	2,00	10,54	3,09	3,84	19,47
Papeles y cartones	91,83%	1,21	6,36	1,87	2,32	11,76
Vidrios	91,83%	0,57	2,98	0,87	1,09	5,51
Metales	91,83%	1,64	8,62	2,53	3,14	15,92
<b>Total reciclables</b>		<b>5,41</b>	<b>56,30</b>	<b>8,36</b>	<b>10,39</b>	<b>80,45</b>
<b>RSD</b>		<b>7,95</b>	<b>14,10</b>	<b>12,29</b>	<b>15,27</b>	<b>49,61</b>
<b>Total</b>		<b>13,36</b>	<b>70,40</b>	<b>20,65</b>	<b>25,66</b>	<b>130,06</b>

## I.2. Caso Base Operación

En primer lugar, en la zonas A, C y D no se tratará la materia orgánica, por lo que se suman al flujo de RSD (Tabla 50).

Tabla 50: Flujo de residuos posibles de tratar (CBO)

	Flujo de residuos (CBO) [ton/mes]				
	Zona A	Zona B	Zona C	Zona D	Total
Materia orgánica	0,00	15,04	0,00	0,00	15,04
Plásticos	1,08	5,70	1,67	2,08	10,53
Papeles y cartones	0,65	3,44	1,01	1,25	6,36
Vidrios	0,31	1,61	0,47	0,59	2,98
Metales	0,89	4,66	1,37	1,70	8,61
<b>RSD</b>	<b>3,71</b>	<b>4,52</b>	<b>5,74</b>	<b>7,13</b>	<b>21,10</b>
<b>Total</b>	<b>6,64</b>	<b>34,98</b>	<b>10,26</b>	<b>12,75</b>	<b>64,62</b>

La frecuencia de recolección de residuos dependerá del grado de separación en el origen. Es por esto que se obtendrán distintos resultados, variando el porcentaje de reciclaje de residuos.

Para obtener la proporción de separación en el origen de RSD y material reciclable se realiza un balance de masa, esquematizado en la Figura 41.

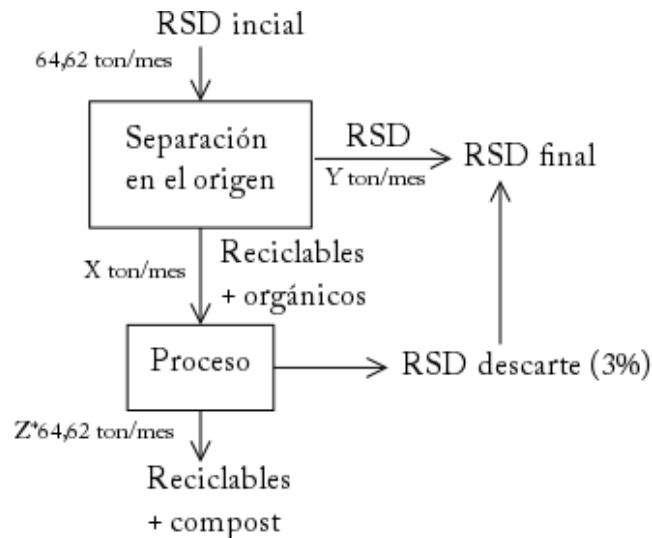


Figura 41: Diagrama de flujos (CBO)

Suponiendo que se descarta el 3% de residuos en el proceso, se calculan los flujos saliente de la separación en el origen para cada caso. El cálculo genérico para todos los casos se muestra a continuación, donde  $Z\%$  va de 0% a 60%.

$$\begin{aligned}
 Z\% \cdot 64,62 \left[ \frac{\text{ton}}{\text{mes}} \right] &= (1 - 3\%) \cdot X \left[ \frac{\text{ton}}{\text{mes}} \right] \\
 \rightarrow X &= \frac{Z\% \cdot 64,62 \left[ \frac{\text{ton}}{\text{mes}} \right]}{(1 - 3\%)} \\
 Y &= 64,62 - \frac{Z\% \cdot 64,62 \left[ \frac{\text{ton}}{\text{mes}} \right]}{(1 - 3\%)}
 \end{aligned}$$

Con esto se obtiene el flujo de materiales reciclables a tratar y de RSD que se van directamente a relleno sanitario, para cada caso.

Sumando el flujo de cada material reciclable (Tabla 50), se obtiene un flujo de 42,98 ton de reciclables posibles a tratar. Luego, dividiendo el flujo de reciclables a tratar en las 42,98 ton, se obtiene el porcentaje de los materiales reciclables que son separados en el origen para ser enviados a proceso (para cada caso). Este porcentaje obtenido se multiplica por el flujo de cada tipo de material generado, obteniendo el flujo de RSD a disponer y de reciclables a tratar, por zona (Tabla 51) (Tabla 52) (Tabla 53) (Tabla 54) (Tabla 55) (Tabla 56).

Tabla 51: Flujo de RSD y reciclables por zona (CBO/10%)

	Flujo de residuos (CBO/10%) [ton/mes]					
	% separación	Zona A	Zona B	Zona C	Zona D	Total
Materia orgánica	15,31%	0,00	2,30	0,00	0,00	2,30
Plásticos	15,31%	0,17	0,87	0,26	0,32	1,61
Papeles y cartones	15,31%	0,10	0,53	0,15	0,19	0,97
Vidrios	15,31%	0,05	0,25	0,07	0,09	0,46
Metales	15,31%	0,14	0,71	0,21	0,26	1,32
<b>Total reciclables</b>		0,45	4,66	0,69	0,86	6,66
<b>RSD</b>		6,19	30,32	9,57	11,89	57,96
<b>Total</b>		<b>6,64</b>	<b>34,98</b>	<b>10,26</b>	<b>12,75</b>	<b>64,62</b>

Tabla 52: Flujo de RSD y reciclables por zona (CBO/20%)

	Flujo de residuos (CBO/20%) [ton/mes]					
	% separación	Zona A	Zona B	Zona C	Zona D	Total
Materia orgánica	30,61%	0,00	4,60	0,00	0,00	4,60
Plásticos	30,61%	0,33	1,75	0,51	0,64	3,22
Papeles y cartones	30,61%	0,20	1,05	0,31	0,38	1,95
Vidrios	30,61%	0,09	0,49	0,14	0,18	0,91
Metales	30,61%	0,27	1,43	0,42	0,52	2,64
<b>Total reciclables</b>		0,90	9,32	1,38	1,72	13,32
<b>RSD</b>		5,74	25,65	8,87	11,03	51,30
<b>Total</b>		<b>6,64</b>	<b>34,98</b>	<b>10,26</b>	<b>12,75</b>	<b>64,62</b>

Tabla 53: Flujo de RSD y reciclables por zona (CBO/30%)

	Flujo de residuos (CBO/30%) [ton/mes]					
	% separación	Zona A	Zona B	Zona C	Zona D	Total
Materia orgánica	45,92%	0,00	6,91	0,00	0,00	6,91
Plásticos	45,92%	0,50	2,62	0,77	0,95	4,84
Papeles y cartones	45,92%	0,30	1,58	0,46	0,58	2,92
Vidrios	45,92%	0,14	0,74	0,22	0,27	1,37
Metales	45,92%	0,41	2,14	0,63	0,78	3,96
<b>Total reciclables</b>		1,34	13,99	2,08	2,58	19,99
<b>RSD</b>		5,30	20,99	8,18	10,17	44,64
<b>Total</b>		<b>6,64</b>	<b>34,98</b>	<b>10,26</b>	<b>12,75</b>	<b>64,62</b>



Tabla 54: Flujo de RSD y reciclables por zona (CBO/40%)

	Flujo de residuos (CBO/40%) [ton/mes]					
	% separación	Zona A	Zona B	Zona C	Zona D	Total
Materia orgánica	61,22%	0,00	9,21	0,00	0,00	9,21
Plásticos	61,22%	0,66	3,49	1,02	1,27	6,45
Papeles y cartones	61,22%	0,40	2,11	0,62	0,77	3,89
Vidrios	61,22%	0,19	0,99	0,29	0,36	1,82
Metales	61,22%	0,54	2,85	0,84	1,04	5,27
<b>Total reciclables</b>		1,79	18,65	2,77	3,44	26,65
<b>RSD</b>		4,85	16,33	7,49	9,31	37,97
<b>Total</b>		6,64	34,98	10,26	12,75	64,62

Tabla 55: Flujo de RSD y reciclables por zona (CBO/50%)

	Flujo de residuos (CBO/50%) [ton/mes]					
	% separación	Zona A	Zona B	Zona C	Zona D	Total
Materia orgánica	76,53%	0,00	11,51	0,00	0,00	11,51
Plásticos	76,53%	0,83	4,36	1,28	1,59	8,06
Papeles y cartones	76,53%	0,50	2,64	0,77	0,96	4,87
Vidrios	76,53%	0,23	1,23	0,36	0,45	2,28
Metales	76,53%	0,68	3,57	1,05	1,30	6,59
<b>Total reciclables</b>		2,24	23,31	3,46	4,30	33,31
<b>RSD</b>		4,40	11,67	6,80	8,45	31,31
<b>Total</b>		6,64	34,98	10,26	12,75	64,62

Tabla 56: Flujo de RSD y reciclables por zona (CBO/60%)

	Flujo de residuos (CBO/60%) [ton/mes]					
	% separación	Zona A	Zona B	Zona C	Zona D	Total
Materia orgánica	91,83%	0,00	13,81	0,00	0,00	13,81
Plásticos	91,83%	0,99	5,24	1,54	1,91	9,67
Papeles y cartones	91,83%	0,60	3,16	0,93	1,15	5,84
Vidrios	91,83%	0,28	1,48	0,43	0,54	2,74
Metales	91,83%	0,81	4,28	1,26	1,56	7,91
<b>Total reciclables</b>		2,69	27,97	4,15	5,16	39,97
<b>RSD</b>		3,95	7,01	6,11	7,59	24,65
<b>Total</b>		6,64	34,98	10,26	12,75	64,62

## J. Dimensionamiento equipamiento e infraestructura Alternativa 1

### J.1. Contenedores

La capacidad másica de los contenedores de cada zona debe ser igual a la masa de RSD transportada por el camión recolector (correspondiente a su capacidad volumétrica). Como en los contenedores se encuentran los residuos sin compactar, se debe calcular el volumen de residuos sueltos que correspondan a la masa transportada por el camión.

Para esto se requiere la densidad de los RSD compactados y sueltos (Tabla 57).

Tabla 57: Densidad de los residuos

Densidad residuos		
Densidad RSD (compacto)	0,45	[ton/m <sup>3</sup> ]
Densidad RSD (suelto)	0,20	[ton/m <sup>3</sup> ]
Materia orgánica (suelto)	300	[kg/m <sup>3</sup> ]
Plásticos (suelto)	65	[kg/m <sup>3</sup> ]
Papeles y cartones (suelto)	80	[kg/m <sup>3</sup> ]
Vidrios (suelto)	196	[kg/m <sup>3</sup> ]
Metales (suelto)	125	[kg/m <sup>3</sup> ]

Teniendo los datos de densidad de los residuos y la capacidad volumétrica del camión de RSD de 12 m<sup>3</sup> (Tabla 8), se calcula la capacidad de los contenedores según las siguientes ecuaciones:

$$CRSD_m = CRSD_v \cdot DC = 12 [m^3] \cdot 0,45 \left[ \frac{ton}{m^3} \right] = 5,4 [ton]$$
$$CCont_v = \frac{CRSD_m}{DS} = \frac{5,4 [ton]}{0,2 \left[ \frac{ton}{m^3} \right]} = 27,4 [m^3]$$

Donde:

$CRSD_m$ : Capacidad másica (de RSD) del camión de RSD [m<sup>3</sup>]

$CRSD_v$ : Capacidad volumétrica del camión de RSD [ton]

$DC$ : Densidad compacta de RSD [ton/m<sup>3</sup>]

$CCont_v$ : Capacidad volumétrica de los contenedores [m<sup>3</sup>]

$DS$ : Densidad suelta de RSD [ton/m<sup>3</sup>]

Como los RSD de las zonas A y B son retirados en conjunto, entre ellos suman los 27,4 m<sup>3</sup>. Teniendo la proporción entre sus habitantes de 16% y 84%, en la zona A y B, respectivamente, se obtiene la capacidad volumétrica de los contenedores en cada zona.

Con estos resultados se calcula el número de contenedores como:

$$N^{\circ}cont = \frac{CCont_v}{CC} \cdot FS = \frac{82,22[m^3] \cdot 1.000 \left[ \frac{l}{m^3} \right]}{240[l]} \cdot 110\% = 342,58 \cdot 110\% \approx 380$$

Donde:

$N^{\circ}cont$ : Número de contenedores [un]

$CC$ : Capacidad de un contenedor [l]

$FS$ : Factor de seguridad [%]

## K. Dimensionamiento equipamiento e infraestructura Alternativa 2

### K.1. Contenedores

Para el cálculo de los contenedores de RSD se procede de la misma manera que para la alternativa 1. Lo único distinto es la proporción de residuos acumulados en la zona A y B, debido al retiro de orgánicos de la zona B, siendo 36% y 64% para la zona A y B, respectivamente.

Para los contenedores de reciclables se tiene que su capacidad de almacenamiento es la misma que la del camión recolector, siendo de 12 m<sup>2</sup>.

### K.2. Centro de Acopio Cochamó

#### K.2.1. Almacenamiento reciclables

Con los flujos de residuos de entrada y salida al centro de acopio se calculan las acumulaciones diarias durante un año, mediante balances de masa (Figura 42). El máximo obtenido corresponde a la capacidad de almacenamiento de reciclables (considerando los residuos no compactados) siendo 60,5 m<sup>3</sup> (línea roja). Se asume un factor de seguridad del 50%, obteniendo una capacidad de 90,7 m<sup>3</sup>. Esto permite una mayor holgura en el manejo de los reciclables, dado que éstos pasan por distintos almacenamientos, correspondientes a las distintas etapas del proceso, que en su totalidad deben sumar la capacidad calculada.

Además, el promedio de almacenamiento de reciclables resulta ser de 25,1 m<sup>3</sup> (línea verde).

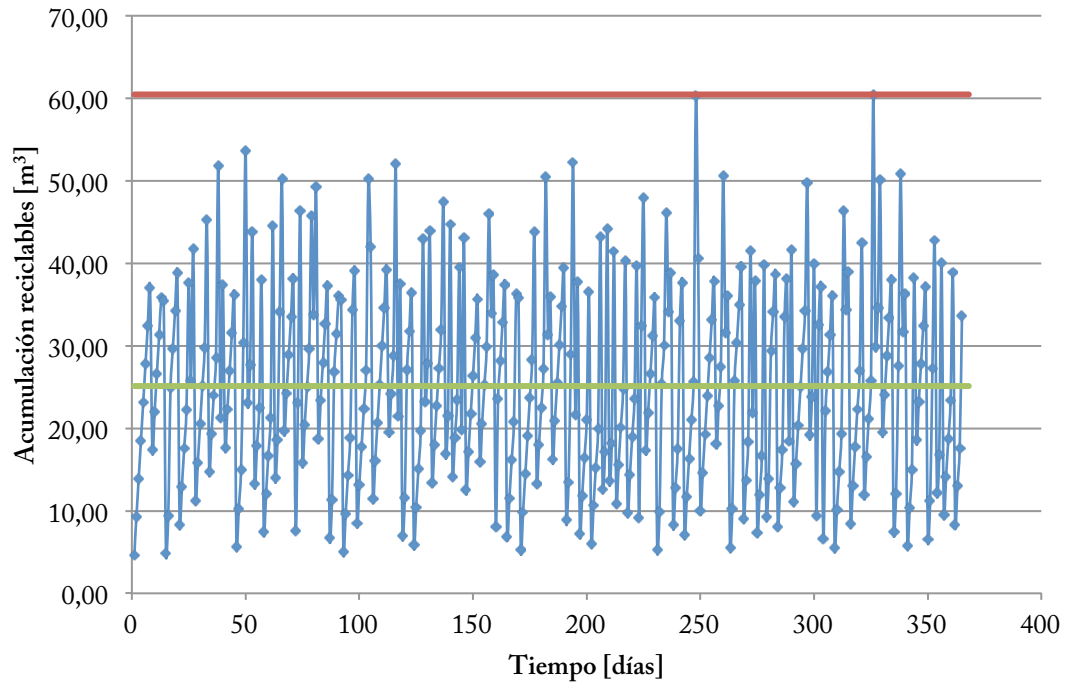


Figura 42: Acumulación de reciclables en CA Cochamó (Alternativa 2)

### K.2.2. Almacenamiento descarte

Se calcula la acumulación del descarte de materiales que no cumplen con las condiciones para ser vendidos (Figura 43). El máximo obtenido corresponde a la capacidad de almacenamiento del material descartado siendo 2,0 m<sup>3</sup> (línea roja). Se asume un factor de seguridad del 10%, obteniendo una capacidad de 2,2 m<sup>3</sup>.

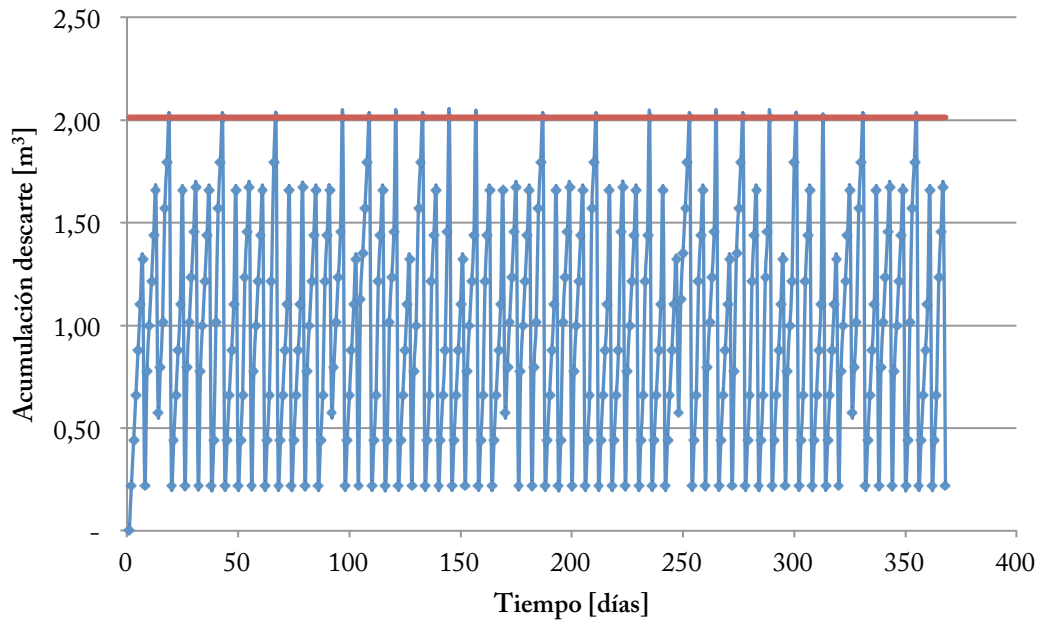


Figura 43: Acumulación de material descartado CA Cochamó (Alternativa 2)

### K.2.3. Pila de compostaje

Para calcular la superficie de la pila de compostaje se toma un tiempo de residencia de 6 meses para el proceso del compost, sabiendo que el rango ideal del compost maduro es de 3-6 meses [25]. Además, se consideran las dimensiones comunes para una pila de compostaje: altura de 1,5 m y un ancho de 3 m [25].

A partir del Caso Base Operación y considerando el 60% de reciclaje de residuos, se obtiene el flujo de material orgánico proveniente de la zona B que llega al centro de acopio, que corresponde a 13,81 [ton/mes] (Tabla 56). Además, se asume que la pila disminuye su tamaño en un 50% por la compactación y pérdida de carbono, por lo que el largo obtenido se divide en dos [25]. Con esto, se puede calcular el largo de la pila de compostaje según las siguientes ecuaciones:

$$MO = 13,81 \left[ \frac{\text{ton}}{\text{mes}} \right] \cdot 1.000 \left[ \frac{\text{kg}}{\text{ton}} \right] \cdot \frac{1}{30} \left[ \frac{\text{mes}}{\text{días}} \right] \cdot \frac{1}{300} \left[ \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \right] = 1,53 \left[ \frac{\text{m}^3}{\text{día}} \right]$$
$$L_{pila} = \frac{MO}{AL_{pila} \cdot AN_{pila}} \cdot t \cdot P = \frac{1,53 \left[ \frac{\text{m}^3}{\text{día}} \right]}{1,5 \text{ [m]} \cdot 3 \text{ [m]}} \cdot 180 \text{ [días]} \cdot \frac{1}{2} = 30,6 \text{ [m]} \approx 31 \text{ [m]}$$

Donde:

*MO*: Materia orgánica [m<sup>3</sup>/día]

*L<sub>pila</sub>*: Largo pila [m]

*AL<sub>pila</sub>*: Alto pila [m]

*AN<sub>pila</sub>*: Ancho pila [m]

*t*: Tiempos de residencia materia orgánica [días]

*P*: Pérdida de volumen

Luego, se calcula la superficie de la pila multiplicando el largo y ancho, obteniendo 93 m<sup>2</sup>.

### K.2.4. Superficie Centro de Acopio Cochamó

Las superficies obtenidas para cada uno de los programas del Centro de Acopio Cochamó se muestran y explican en la Tabla 58.

Tabla 58: Superficie programas Centro de Acopio Cochamó (Alternativa 2)

Zonas	Área [m <sup>2</sup> ]	Supuesto/dato
Llegada reciclables	15,12	Se asume una altura de 2 m, obteniendo una superficie de 45,35 m <sup>2</sup> para el almacenamiento de reciclables. Ésta se divide en las 3 etapas del proceso, obteniendo la superficie de almacenamiento de cada una de ellas.
Reciclables clasificados	15,12	
Fardos	15,12	
Descarte	2,20	Se asume un altura de 1 m, obteniendo una superficie de 2,2 m <sup>2</sup> para el almacenamiento de descarte.
Selección manual	3,00	Supuesto directo.
Compactadora	0,75	Dimensiones ficha técnica compactadora.
Oficina	9,00	Supuesto directo.
Baños	4,00	Supuesto directo.
Compostaje	107,16	Calculado en Anexo K.2.3.

### K.3. Centro de Acopio Llanada Grande

#### K.3.1. Almacenamiento reciclables

Con los flujos de residuos de entrada y salida al centro de acopio se calculan las acumulaciones diarias durante un año, mediante balances de masa (Figura 44). El máximo obtenido corresponde a la capacidad de almacenamiento de reciclables (considerando los residuos no compactados) siendo 28,6 m<sup>3</sup> (línea roja). Se asume un factor de seguridad del 50%, obteniendo una capacidad de 42,8 m<sup>3</sup>. Esto permite una mayor holgura en el manejo de los reciclables, dado que éstos pasan por distintos almacenamientos, correspondientes a las distintas etapas del proceso, que en su totalidad deben sumar la capacidad calculada

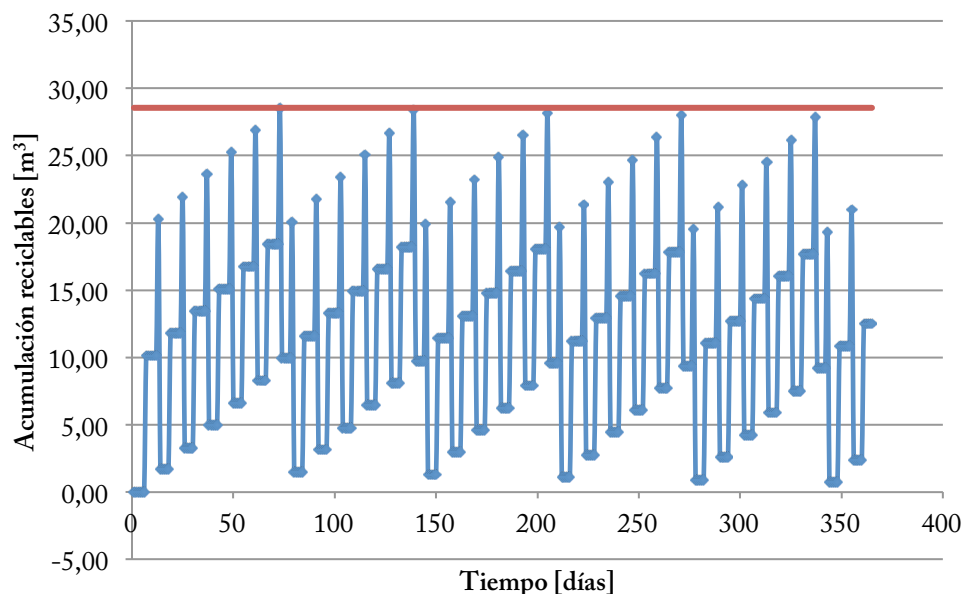


Figura 44: Acumulación de reciclables en CA Llanada Grande (Alternativa 2)

### K.3.2. Almacenamiento descarte

Se calcula la acumulación del descarte de materiales que no cumplen con las condiciones para ser vendidos (Figura 45). El máximo obtenido corresponde a la capacidad de almacenamiento del material descartado siendo  $0,63 \text{ m}^3$  (línea roja). Se asume un factor de seguridad del 10%, obteniendo una capacidad de  $0,7 \text{ m}^3$ .

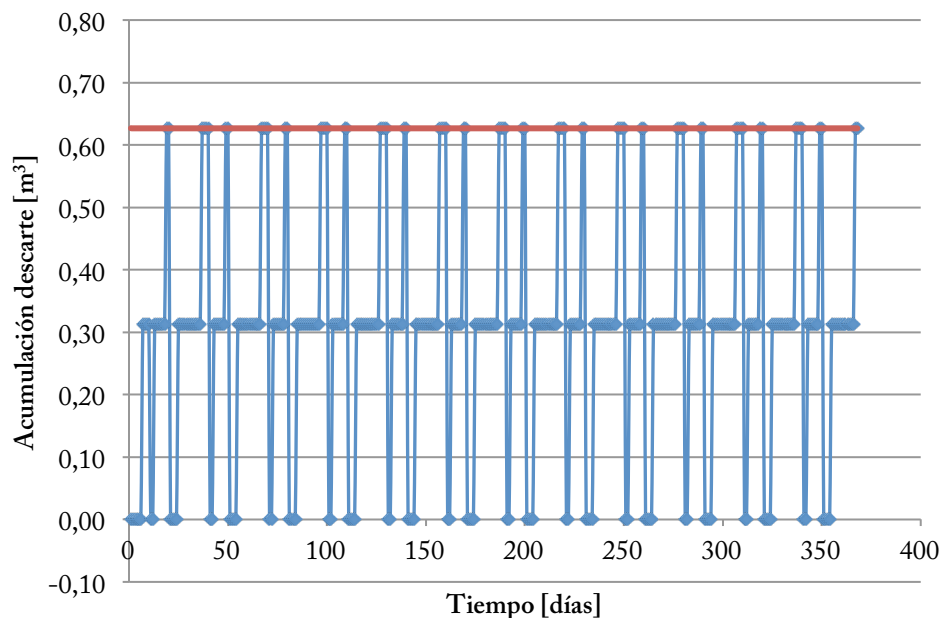


Figura 45: Acumulación de material descartado CA Llanada Grande (Alternativa 2)

### K.3.3. Superficie Centro de Acopio Llanada Grande

Las superficies obtenidas para cada uno de los programas del Centro de Acopio Llanada Grande se explican en la Tabla 59.

Tabla 59: Superficie programas Centro de Acopio Llanada Grande (Alternativa 2)

Zonas	Área [m <sup>2</sup> ]	Supuesto/dato
Llegada reciclables	7,14	Se asume una altura de 2 m, obteniendo una superficie de $21,41 \text{ m}^2$ para el almacenamiento de reciclables. Ésta se divide en las 3 etapas del proceso, obteniendo la superficie de almacenamiento de cada una de ellas.
Reciclables clasificados	7,14	
Fardos	7,14	
Descarte	0,70	Se asume un altura de 1 m, obteniendo una superficie de $0,7 \text{ m}^2$ para el almacenamiento de descarte.
Selección manual	2,00	Supuesto directo.
Compactadora	0,75	Dimensiones ficha técnica compactadora.
Oficina	4,00	Supuesto directo.
Baños	2,00	Supuesto directo.

## L. Dimensionamiento equipamiento e infraestructura Alternativa 3

### L.1. Contenedores

En este caso la capacidades de los contenedores de reciclables de las zonas A y B son igual a la de la capacidad del camión de reciclables, igual a  $12 \text{ m}^3$ .

A su vez, la suma de las capacidad de los contenedores de RSD y reciclables en las zonas C y D es igual a la capacidad de los camiones de RSD+reciclables, igual a  $12 \text{ m}^3$ .

Luego, la suma de la capacidad de los contenedores de toda la comuna, suman la capacidad del camión de RSD, pero considerando los residuos sin compactar ( $27,41 \text{ m}^3$ ).

### L.2. Centro de Acopio Cochamó

#### L.2.1. Almacenamiento reciclables

Con los flujos de residuos de entrada y salida al centro de acopio se calculan las acumulaciones diarias durante un año, mediante balances de masa (Figura 46). El máximo obtenido corresponde a la capacidad de almacenamiento de reciclables (considerando los residuos no compactados) siendo  $54,5 \text{ m}^3$  (línea roja). Se asume un factor de seguridad del 50%, obteniendo una capacidad de  $81,7 \text{ m}^3$ . Esto permite una mayor holgura en el manejo de los reciclables, dado que éstos pasan por distintos almacenamientos, correspondientes a las distintas etapas del proceso, que en su totalidad deben sumar la capacidad calculada.

Además, el promedio de almacenamiento de reciclables resulta ser de  $26,1 \text{ m}^3$  (línea verde).

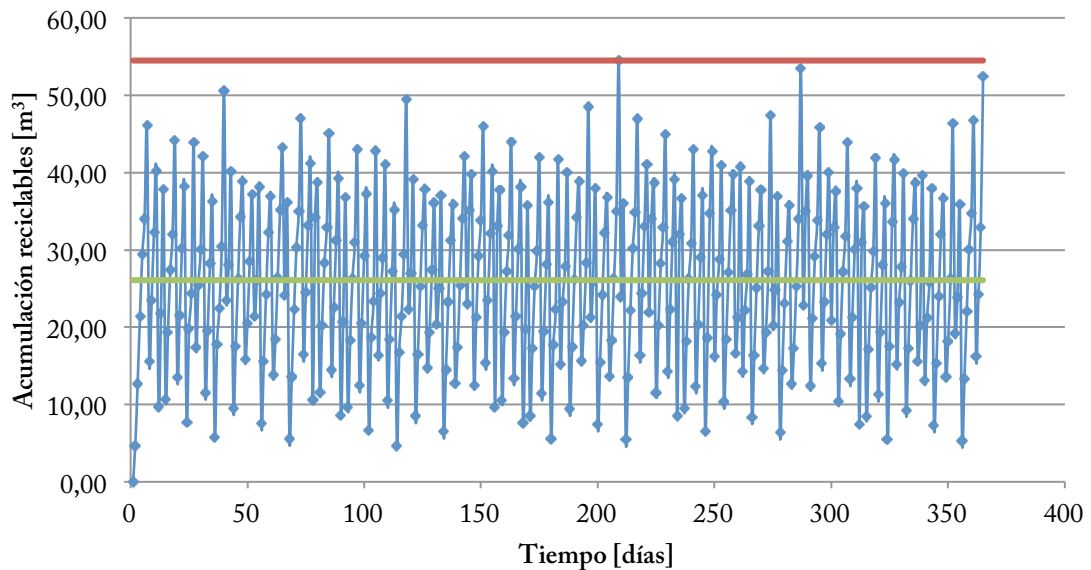


Figura 46: Acumulación de reciclables en CA Cochamó (Alternativa 3)



### L.2.2. Almacenamiento descarte

Se calcula la acumulación del descarte de materiales que no cumplen con las condiciones para ser vendidos (Figura 47). El máximo obtenido corresponde a la capacidad de almacenamiento del material descartado siendo  $1,3 \text{ m}^3$  (línea roja). Se asume un factor de seguridad del 10%, obteniendo una capacidad de  $1,5 \text{ m}^3$ .

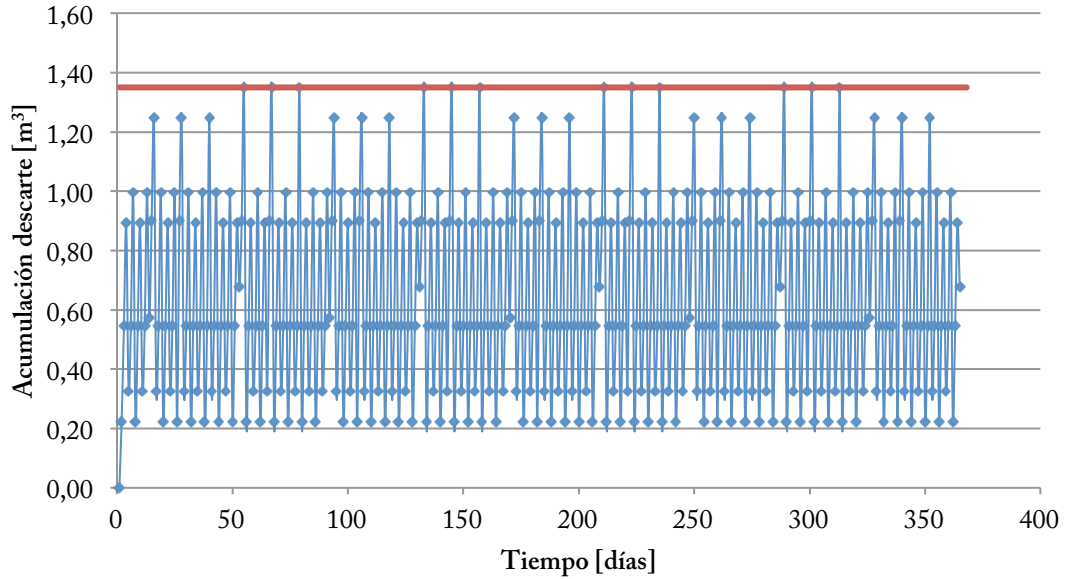


Figura 47: Acumulación de material descartado CA Cochamó (Alternativa 3)

### L.2.3. Almacenamiento RSD

En este caso también se acumulan los RSD provenientes de las zonas C y D, para luego ser retirados y llevados al relleno sanitario (Figura 48). El máximo obtenido corresponde a la capacidad de almacenamiento de RSD siendo  $16,4 \text{ m}^3$  (línea roja). Se asume un factor de seguridad del 10%, obteniendo una capacidad de  $18,1 \text{ m}^3$ .

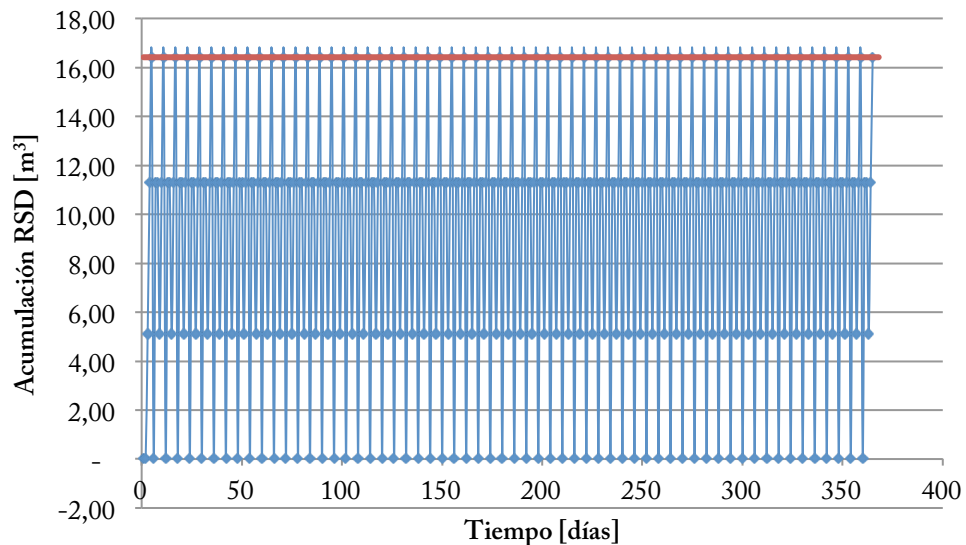


Figura 48: Acumulación de RSD CA Cochamó (Alternativa 3)

#### L.2.4. Pila de compostaje

Se calcula igual que en la alternativa 2 (Anexo K.2.3).

#### L.2.5. Superficie Centro de Acopio Cochamó

Las superficies obtenidas para cada uno de los programas del Centro de Acopio Cochamó se explican en la Tabla 60.

Tabla 60: Superficie programas Centro de Acopio Cochamó (Alternativa 3)

Zonas	Área [m <sup>2</sup> ]	
Llegada reciclables	13,62	Se asume una altura de 2 m, obteniendo una superficie de 40,87 m <sup>2</sup> para el almacenamiento de reciclables. Ésta se divide en las 3 etapas del proceso, obteniendo la superficie de almacenamiento de cada una de ellas.
Reciclables clasificados	13,62	
Fardos	13,62	
Descarte	1,50	Se asume un altura de 1 m, obteniendo una superficie de 1,5 m <sup>2</sup> para el almacenamiento de descarte..
RSD	12,04	Se asume un altura de 1,5 m, obteniendo una superficie de 12,04 m <sup>2</sup> para el almacenamiento de descarte.
Selección manual	3,00	Supuesto directo.
Compactadora	0,75	Dimensiones ficha técnica compactadora.
Oficina	9,00	Supuesto directo.
Baños	4,00	Supuesto directo.
Compostaje	107,16	Calculado en Anexo K.2.3.

#### M. Logística de transporte

Para estimar la distancia anual recorrida por los camiones, se multiplica la distancia por viaje de cada uno de los recorridos, por el número anual de viajes realizados. Las distancia por viaje utilizadas para las alternativa 2 y 3, se muestran en la Tabla 61 y Tabla 62, respectivamente.

Tabla 61: Distancia por viaje Alternativa 2

Recorridos	Distancia viaje [km]
D-CA2 (reciclables)	138
CA2-CA1 (reciclables)	156
A-CA1 (reciclables)	60
B-CA1 (reciclables)	121
C-CA1 (reciclables)	102
BC-CA1 (reciclables)	102
Salida CA1 (reciclables)	1.070
Salida AB-RS (RSD)	336
Salida C-RS (RSD)	290
Salida D-RS (RSD)	418

Tabla 62: Distancia por viaje Alternativa 3

Recorridos	Distancia viaje [km]
A-CA (reciclables)	60
B-CA (reciclables)	121
C-CA (RSD + reciclables)	102
D-CA (RSD + reciclables)	230
Salida CA (reciclables)	1.070
Salida AB-RS (RSD)	336

## N. Evaluación ambiental

Para calcular las emisiones anuales de CO<sub>2</sub> eq se multiplican los kilómetros anuales recorridos, las toneladas anuales de RSD dispuestos y las toneladas anuales de residuos orgánicos compostados por cada uno de sus factores de emisión [28] (Tabla 63), de cada una de las alternativas. Estas variables son calculadas con el Caso Base Operación.

Tabla 63: Factores de emisión

	Factor emisión	unidad
Transporte	0,56	[kgCO <sub>2</sub> eq/km]
Disposición RSD	421,00	[kgCO <sub>2</sub> eq/ton]
Compostaje	6	[kgCO <sub>2</sub> eq/ton]

Como ejemplo de cálculo, se muestra el procedimiento realizado para obtener las emisiones por transporte de la alternativa 1. Sabiendo que se recorren anualmente 60.156 km se tiene que:

$$CO_2eq = 60.156 \left[ \frac{km}{año} \right] \cdot 0,56 \left[ \frac{kgCO_2eq}{km} \right] \cdot \frac{1}{1.000} = 33,56 \left[ \frac{ton}{año} \right]$$

Para las alternativas 2 y 3 se tendrán diferentes resultados dependiendo el porcentaje de reciclaje.

## O. Evaluación económica

Para realizar la evaluación social es necesario corregir los valores de mercado a precios sociales.

Las correcciones a precios sociales de acuerdo al criterio utilizado por el Ministerio de Desarrollo Social, se encuentran indicadas en la publicación “Normas, Instrucciones y Procedimientos de Inversión Pública”. Se deberán corregir [29]:

- a) Bienes e insumos nacionales: descontar del valor de mercado el IVA
- b) Materiales importados: descontar del valor de mercado el IVA y los aranceles de importación y multiplicar por factor de corrección de la divisa (FCD)
- c) Combustibles: utilizar valor indicado por el Ministerio de Desarrollo Social
- d) Mano de obra calificada: multiplicar valor de mercado por factor de corrección
- e) Mano de obra semi-calificada: multiplicar valor de mercado por factor corrección
- f) Mano de obra no calificada: multiplicar valor de mercado por factor corrección

Los valores utilizados se resumen en la Tabla 64.

Tabla 64: Parámetros de corrección a precios sociales

Parámetro	Valor	Referencia
IVA	19%	
Arancel de importación	6%	[34]
Factor de corrección de la divisa	1,01	[32]
Precio social diesel	319 [CLP/l]	[32]
Mano de obra calificada	0,98	[32]
Mano de obra semi-calificada	0,68	[32]
Mano de obra no calificada	0,62	[32]

## O.1. Inversión

Tabla 65: Inversión Alternativa 1

	Unidad	Cantidad	P. Unitario mercado	P. Total mercado	FC	Total	Referencia precio
Camión RSD (compactador)	un	2	57.475.821	114.951.641	1	116.101.157	[35]
Contenedores recolección	un	380	33.605	12.769.916	1	12.769.916	[36]
Total						128.871.073	

Tabla 66: Inversión Alternativa 2

	Unidad	Cantidad	P. Unitario mercado	P. Total mercado	FC	Total	Referencia precio
<b>Construcción Centro de Acopio Cochamó</b>							
Terreno Cochamó	5.000 m <sup>2</sup> <sup>[1]</sup>	1	25.000.000	25.000.000	1,00	25.000.000	[37]
Mejoras en el terreno		1	5.000.000	5.000.000	1,00	5.000.000	Supuesto
Construcción galpón + instalaciones	m <sup>2</sup>	280	133.107	37.269.960	1,00	37.269.960	[38]
Tramitaciones		1	2.608.897	2.608.897	1,00	2.608.897	[38]
Imprevistos		1	5.000.000	5.000.000	1,00	5.000.000	Supuesto
Bienes muebles		1	10.000.000	10.000.000	1,00	10.000.000	Supuesto
Equipos de oficina		1	5.000.000	5.000.000	1,00	5.000.000	Supuesto
<b>Construcción Centro de Acopio Llanada Grande</b>							
Terreno Llanada Grande	7.000 m <sup>2</sup> <sup>[1]</sup>	1	18.000.000	18.000.000	1,00	18.000.000	[39]
Mejoras en el terreno		1	3.000.000	3.000.000	1,00	3.000.000	Supuesto
Construcción galpón + instalaciones	m <sup>2</sup>	160	133.107	21.297.120	1,00	21.297.120	[38]
Tramitaciones		1	1.490.798	1.490.798	1,00	1.490.798	[38]
Imprevistos		1	3.000.000	3.000.000	1,00	3.000.000	Supuesto

Bienes muebles		1	5.000.000	5.000.000	1,00	5.000.000	Supuesto
Equipos de oficina		1	2.000.000	2.000.000	1,00	2.000.000	Supuesto
<b>Maquinaria y equipos</b>							
Contenedores recolección	un	600	33.605	20.163.025	1,00	20.163.025	[36]
Camión RSD (compactador)	un	1	57.475.821	57.475.821	1,01	58.050.579	[35]
Camión reciclaje	un	2	14.839.623	29.679.245	1,01	29.976.038	Anexo P
Caja carga camión	un	2	2.245.283	4.490.566	1,01	4.535.472	Anexo P
Camión venta reciclables	un	1	23.584.906	23.584.906	1,01	23.820.755	Supuesto de Anexo P
Caja de carga camión	un	1	2.471.698	2.471.698	1,01	2.496.415	Anexo P
Compactadora	un	2	2.914.439	5.828.877	1,01	5.887.166	Anexo P
Set de amarre fardos	un	2	95.132	190.265	1,01	192.167	Anexo P
Pesa	un	2	44.454	88.908	1,00	88.908	[40]
Traspaleta	un	3	158.546	475.638	1,01	480.395	[41]
<b>Otros</b>							
Educación ambiental		1	20.000.000	20.000.000	1,00	20.000.000	Supuesto
<b>Total</b>						<b>309.357.694</b>	

Tabla 67: Inversión Alternativa 3

	Unidad	Cantidad	P. Unitario mercado	P. Total mercado	FC	Total	Referencia precio
<b>Construcción Centro de Acopio Cochamó</b>							
Terreno Cochamó	5.000 m <sup>2</sup>	1	25.000.000	25.000.000	1,00	25.000.000	[37]
Mejoras en el terreno		1	5.000.000	5.000.000	1,00	5.000.000	Supuesto
Construcción galpón + instalaciones	m <sup>2</sup>	290	133.107	38.601.030	1,00	38.601.030	[38]
Tramitaciones		1	2.702.072	2.702.072	1,00	2.702.072	[38]
Imprevistos		1	6.000.000	6.000.000	1,00	6.000.000	Supuesto
Bienes muebles		1	10.000.000	10.000.000	1,00	10.000.000	Supuesto
Equipos de oficina		1	5.000.000	5.000.000	1,00	5.000.000	Supuesto
<b>Maquinaria y equipos</b>							
Contenedores recolección	un	280	33.605	9.409.412	1,00	9.409.412	[36]
Camión RSD (compactador)	un	1	57.475.821	57.475.821	1,01	58.050.579	[35]
Camión reciclaje	un	2	14.839.623	29.679.245	1,01	29.976.038	Anexo P
Caja carga camión	un	2	2.245.283	4.490.566	1,01	4.535.472	Anexo P
Camión venta reciclables	un	1	23.584.906	23.584.906	1,01	23.820.755	Supuesto de Anexo P
Caja de carga camión	un	1	2.471.698	2.471.698	1,01	2.496.415	Anexo P
Compactadora	un	2	2.914.439	5.828.877	1,01	5.887.166	Anexo P
Set de amarre fardos	un	2	95.132	190.265	1,01	192.167	Anexo P
Pesa	un	1	44.454	44.454	1,01	44.898	[40]
Traspaleta	un	3	158.546	475.638	1,01	480.395	[41]
<b>Otros</b>							
Educación ambiental		1	20.000.000	20.000.000	1,00	20.000.000	Supuesto
<b>Total</b>						<b>309.357.694</b>	

## O.2. Costos Operacionales

Tabla 68: Costos operacionales Alternativa 1

	Unidad	Cantidad	P. Unitario mercado [CLP]	P. Total mercado [CLP]	FC	P. Unitario social [CLP]	Total [CLP]	Referencia precio
<b>Materiales e insumos</b>								
Combustible camiones	lt	15.039 <sup>[2]</sup>				319	4.797.441	[32]
<b>Mantenimiento maquinaria y equipos</b>								
							3.000.000	Supuesto
<b>Sueldos</b>								
Administración aseo y ornato	un	1	12.000.000	12.000.000	0,98		11.760.000	Supuesto
Chofer camión RSD	un	2	5.400.000	10.800.000	0,62		6.696.000	Supuesto
Recolector camión RSD	un	2	3.600.000	7.200.000	0,62		4.464.000	Supuesto
<b>Otros</b>								
Disposición de RSD	ton	775	9.993	7.749.507	1,00		7.749.507	Info. municipio
<b>Total</b>							<b>38.466.948</b>	

<sup>[1]</sup> Se asume un rendimiento del camión de 4 km/l, por lo que conociendo los kilómetros recorridos (Tabla 16) (Tabla 20) (Tabla 24) se puede calcular los litros consumidos.

Tabla 69: Costos operacionales Alternativa 2

	Unidad	Cantidad	P. Unitario mercado [CLP]	P. Total mercado [CLP]	FC	P. Unitario social [CLP]	Total [CLP]	Referencia precio
<b>Materiales e insumos</b>								
Combustible camiones	lt	24.097 <sup>[2]</sup>				319	7.686.784	[32]
Electricidad Centros de Acopio	kWh	10.560 <sup>[3]</sup>	112	1.186.522	1,00		1.186.522	[42]
Zunchos	un	10	15.042	150.420	1,00		150.420	Anexo P
Sellos	un	5	21.723	108.613	1,00		108.613	Anexo P
Sacos	un	100	5.286	528.571	1,00		528.571	[43]
Elementos de protección personal	un						50.000	Supuesto
<b>Mantenimiento maquinaria y equipos</b>								
							5.000.000	Supuesto
<b>Sueldos</b>								
Administración aseo y ornato	un	1	12.000.000	12.000.000	0,98		11.760.000	Supuesto
Administración Centro de Acopio Cochamó	un	1	9.000.000	9.000.000	0,68		6.120.000	Supuesto
Administración Centro de Acopio Llanada Grande	un	1	4.800.000	4.800.000	0,68		3.264.000	Supuesto
Ayudante Centro de Acopio Cochamó	un	3	4.800.000	14.400.000	0,62		8.928.000	Supuesto
Ayudante Centro de Acopio Llanada Grande	un	1	2.400.000	2.400.000	0,62		1.488.000	Supuesto

Chofer camión RSD	un	1	5.400.000	5.400.000	0,62		3.348.000	Supuesto
Recolector camión RSD	un	1	3.600.000	3.600.000	0,62		2.232.000	Supuesto
<b>Otros</b>								
Disposición RSD	ton	305,22	9.993	3.050.112	1,00		3.050.112	Info. municipio
Educación ambiental							3.000.000	Supuesto
<b>Total</b>							<b>57.901.022</b>	

[3] Se calcula asumiendo que el centro de acopio consume lo mismo que una casa promedio (200 kWh) [44], más el gasto energético de la compactadora que es de 240 kWh al mes, utilizándola 8 horas al día (potencia de 1,5 kW [45]). Con esto se obtiene un consumo de 440 kWh mensual, equivalente a 5.280 kWh anual. Considerando los dos centros de acopio se obtiene un consumo de 10.560.

Tabla 70: Costos operacionales Alternativa 3

	Unidad	Cantidad	P. Unitario mercado [CLP]	P. Total mercado [CLP]	FC	P. Unitario social [CLP]	Total [CLP]	Referencia precio
<b>Materiales e insumos</b>								
Combustible camiones	lt	27.676 [2]				319	8.828.644	[32]
Electricidad Centro de Acopio	kWh	5.280 [4]	112	593.261	1,00		593.261	[42]
Zunchos	un	10	15.042	150.420	1,00		150.420	Anexo P
Sellos	un	5	21.723	108.613	1,00		108.613	Anexo P
Sacos	un	100	5.286	528.600	1,00		528.600	[43]
Elementos de protección personal							50.000	Supuesto
<b>Mantenimiento maquinaria y equipos</b>								
							5.000.000	Supuesto
<b>Mano de obra</b>								
Administración aseo y ornato	un	1	12.000.000	12.000.000	0,98		11.760.000	Supuesto
Administración Centro de Acopio Cochamó	un	1	9.600.000	9.600.000	0,68		6.528.000	Supuesto
Ayudante Centro de Acopio Cochamó	un	4	4.800.000	19.200.000	0,62		11.904.000	Supuesto
Chofer camión RSD	un	1	5.400.000	5.400.000	0,62		3.348.000	Supuesto
Recolector camión RSD	un	1	3.600.000	3.600.000	0,62		2.232.000	Supuesto
<b>Otros</b>								
Disposición RSD en relleno sanitario	ton	305,22	9.993	3.050.112	1,00		3.050.112	Info. municipio
Educación ambiental							3.000.000	Supuesto
<b>Total</b>							<b>57.081.651</b>	

[4] Se realiza lo mismo que en la caso anterior, pero se considera un centro de acopio.

### O.3. Ingresos

Tabla 71: Ingreso por ventas

	Precio venta [CLP/kg]	Masa vendida [ton/año]	Total [CLP/año]	Referencia precio
Plásticos	200	111	22.148.902	[46]
Papeles y cartones	40	67	2.675.726	[47]
Vidrios	30	31	939.672	[46]
Metales	500	91	45.291.480	[48]
		Total	71.055.780	



## O.4. Flujo de caja

### Alternativa 1

Tabla 72: Flujo de caja del año 0 al 6 en [CLP] Alternativa 1

	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6
(+) Ingresos por ventas	-	-	-	-	-	-	-
(+) Derechos de aseo	-	1.419.000	1.419.000	1.419.000	1.419.000	1.419.000	1.419.000
(+) Ingreso total	-	1.419.000	1.419.000	1.419.000	1.419.000	1.419.000	1.419.000
(-) OPEX	-	38.466.948	38.466.948	38.466.948	38.466.948	38.466.948	38.466.948
(-) Costo social CO2	-	7.808.298	7.808.298	7.808.298	7.808.298	7.808.298	7.808.298
(-) Inversiones	128.871.073	-	-	-	-	-	-
(-) Costo total	128.871.073	46.275.246	46.275.246	46.275.246	46.275.246	46.275.246	46.275.246
<b>Flujo de caja Neto</b>	<b>-128.871.073</b>	<b>-44.856.246</b>	<b>-44.856.246</b>	<b>-44.856.246</b>	<b>-44.856.246</b>	<b>-44.856.246</b>	<b>-44.856.246</b>

Tabla 73: Flujo de caja del año 7 al 13 en [CLP] Alternativa 1

	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10	Año 11	Año 12	Año 13
(+) Ingresos por ventas	-	-	-	-	-	-	-
(+) Derechos de aseo	1.419.000	1.419.000	1.419.000	1.419.000	1.419.000	1.419.000	1.419.000
(+) Ingreso total	1.419.000	1.419.000	1.419.000	1.419.000	1.419.000	1.419.000	1.419.000
(-) OPEX	38.466.948	38.466.948	38.466.948	38.466.948	38.466.948	38.466.948	38.466.948
(-) Costo social CO2	7.808.298	7.808.298	7.808.298	7.808.298	7.808.298	7.808.298	7.808.298
(-) Inversiones	116.101.157	-	-	-	-	-	-
(-) Costo total	162.376.403	46.275.246	46.275.246	46.275.246	46.275.246	46.275.246	46.275.246
<b>Flujo de caja Neto</b>	<b>-160.957.403</b>	<b>-44.856.246</b>	<b>-44.856.246</b>	<b>-44.856.246</b>	<b>-44.856.246</b>	<b>-44.856.246</b>	<b>-44.856.246</b>

Tabla 74: Flujo de caja del año 14 al 20 en [CLP] Alternativa 1

	Año 14	Año 15	Año 16	Año 17	Año 18	Año 19	Año 20
(+) Ingresos por ventas	-	-	-	-	-	-	-
(+) Derechos de aseo	1.419.000	1.419.000	1.419.000	1.419.000	1.419.000	1.419.000	1.419.000
(+) Ingreso total	1.419.000	1.419.000	1.419.000	1.419.000	1.419.000	1.419.000	1.419.000
(-) OPEX	38.466.948	38.466.948	38.466.948	38.466.948	38.466.948	38.466.948	38.466.948
(-) Costo social CO2	7.808.298	7.808.298	7.808.298	7.808.298	7.808.298	7.808.298	7.808.298
(-) Inversiones	116.101.157	-	-	-	-	-	-
(-) Costo total	162.376.403	46.275.246	46.275.246	46.275.246	46.275.246	46.275.246	46.275.246
<b>Flujo de caja Neto</b>	<b>-160.957.403</b>	<b>-44.856.246</b>	<b>-44.856.246</b>	<b>-44.856.246</b>	<b>-44.856.246</b>	<b>-44.856.246</b>	<b>-44.856.246</b>

## Alternativa 2

Tabla 75: Flujo de caja del año 0 al 6 en [CLP] Alternativa 2

	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6
(+) Ingresos por ventas	-	71.055.780	71.055.780	71.055.780	71.055.780	71.055.780	71.055.780
(+) Derechos de aseo	-	1.419.000	1.419.000	1.419.000	1.419.000	1.419.000	1.419.000
(+) Ingreso total	-	72.474.780	72.474.780	72.474.780	72.474.780	72.474.780	72.474.780
(-) OPEX	-	57.901.022	57.901.022	57.901.022	57.901.022	57.901.022	57.901.022
(-) Costo social CO2	-	3.974.628	3.974.628	3.974.628	3.974.628	3.974.628	3.974.628
(-) Inversiones	309.357.694	-	-	-	-	-	-
(-) Costo total	309.357.694	61.875.650	61.875.650	61.875.650	61.875.650	61.875.650	61.875.650
<b>Flujo de caja Neto</b>	<b>-309.357.694</b>	<b>10.599.129</b>	<b>10.599.129</b>	<b>10.599.129</b>	<b>10.599.129</b>	<b>10.599.129</b>	<b>10.599.129</b>

Tabla 76: Flujo de caja del año 7 al 13 en [CLP] Alternativa 2

	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10	Año 11	Año 12	Año 13
(+) Ingresos por ventas	71.055.780	71.055.780	71.055.780	71.055.780	71.055.780	71.055.780	71.055.780
(+) Derechos de aseo	1.419.000	1.419.000	1.419.000	1.419.000	1.419.000	1.419.000	1.419.000
(+) Ingreso total	72.474.780	72.474.780	72.474.780	72.474.780	72.474.780	72.474.780	72.474.780
(-) OPEX	57.901.022	57.901.022	57.901.022	57.901.022	57.901.022	57.901.022	57.901.022
(-) Costo social CO2	3.974.628	3.974.628	3.974.628	3.974.628	3.974.628	3.974.628	3.974.628
(-) Inversiones	118.879.258	-	-	-	-	-	-
(-) Costo total	180.754.908	61.875.650	61.875.650	61.875.650	61.875.650	61.875.650	61.875.650
<b>Flujo de caja Neto</b>	<b>-108.280.129</b>	<b>10.599.129</b>	<b>10.599.129</b>	<b>10.599.129</b>	<b>10.599.129</b>	<b>10.599.129</b>	<b>10.599.129</b>

Tabla 77: Flujo de caja del año 14 al 20 en [CLP] Alternativa 2

	Año 14	Año 15	Año 16	Año 17	Año 18	Año 19	Año 20
(+) Ingresos por ventas	71.055.780	71.055.780	71.055.780	71.055.780	71.055.780	71.055.780	71.055.780
(+) Derechos de aseo	1.419.000	1.419.000	1.419.000	1.419.000	1.419.000	1.419.000	1.419.000
(+) Ingreso total	72.474.780	72.474.780	72.474.780	72.474.780	72.474.780	72.474.780	72.474.780
(-) OPEX	57.901.022	57.901.022	57.901.022	57.901.022	57.901.022	57.901.022	57.901.022
(-) Costo social CO2	3.974.628	3.974.628	3.974.628	3.974.628	3.974.628	3.974.628	3.974.628
(-) Inversiones	118.879.258	-	-	-	-	-	-
(-) Costo total	180.754.908	61.875.650	61.875.650	61.875.650	61.875.650	61.875.650	61.875.650
<b>Flujo de caja Neto</b>	<b>-108.280.129</b>	<b>10.599.129</b>	<b>10.599.129</b>	<b>10.599.129</b>	<b>10.599.129</b>	<b>10.599.129</b>	<b>10.599.129</b>

### Alternativa 3

Tabla 18: Flujo de caja del año 0 al 6 en [CLP] Alternativa 3

	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6
(+) Ingresos por ventas	-	71.055.780	71.055.780	71.055.780	71.055.780	71.055.780	71.055.780
(+) Derechos de aseo	-	1.419.000	1.419.000	1.419.000	1.419.000	1.419.000	1.419.000
(+) Ingreso total	-	72.474.780	72.474.780	72.474.780	72.474.780	72.474.780	72.474.780
(-) OPEX	-	57.081.651	57.081.651	57.081.651	57.081.651	57.081.651	57.081.651
(-) Costo social CO2	-	4.147.881	4.147.881	4.147.881	4.147.881	4.147.881	4.147.881
(-) Inversiones	247.196.398	-	-	-	-	-	-
(-) Costo total	247.196.398	61.229.531	61.229.531	61.229.531	61.229.531	61.229.531	61.229.531
<b>Flujo de caja Neto</b>	<b>-247.196.398</b>	<b>11.245.248</b>	<b>11.245.248</b>	<b>11.245.248</b>	<b>11.245.248</b>	<b>11.245.248</b>	<b>11.245.248</b>

Tabla 79: Flujo de caja del año 7 al 13 en [CLP] Alternativa 3

	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10	Año 11	Año 12	Año 13
(+) Ingresos por ventas	71.055.780	71.055.780	71.055.780	71.055.780	71.055.780	71.055.780	71.055.780
(+) Derechos de aseo	1.419.000	1.419.000	1.419.000	1.419.000	1.419.000	1.419.000	1.419.000
(+) Ingreso total	72.474.780	72.474.780	72.474.780	72.474.780	72.474.780	72.474.780	72.474.780
(-) OPEX	57.081.651	57.081.651	57.081.651	57.081.651	57.081.651	57.081.651	57.081.651
(-) Costo social CO2	4.147.881	4.147.881	4.147.881	4.147.881	4.147.881	4.147.881	4.147.881
(-) Inversiones	118.879.258	-	-	-	-	-	-
(-) Costo total	180.108.789	61.229.531	61.229.531	61.229.531	61.229.531	61.229.531	61.229.531
<b>Flujo de caja Neto</b>	<b>-107.634.010</b>	<b>11.245.248</b>	<b>11.245.248</b>	<b>11.245.248</b>	<b>11.245.248</b>	<b>11.245.248</b>	<b>11.245.248</b>

Tabla 80: Flujo de caja del año 14 al 20 en [CLP] Alternativa 3

	Año 14	Año 15	Año 16	Año 17	Año 18	Año 19	Año 20
(+) Ingresos por ventas	71.055.780	71.055.780	71.055.780	71.055.780	71.055.780	71.055.780	71.055.780
(+) Derechos de aseo	1.419.000	1.419.000	1.419.000	1.419.000	1.419.000	1.419.000	1.419.000
(+) Ingreso total	72.474.780	72.474.780	72.474.780	72.474.780	72.474.780	72.474.780	72.474.780
(-) OPEX	57.081.651	57.081.651	57.081.651	57.081.651	57.081.651	57.081.651	57.081.651
(-) Costo social CO2	4.147.881	4.147.881	4.147.881	4.147.881	4.147.881	4.147.881	4.147.881
(-) Inversiones	118.879.258	-	-	-	-	-	-
(-) Costo total	180.108.789	61.229.531	61.229.531	61.229.531	61.229.531	61.229.531	61.229.531
<b>Flujo de caja Neto</b>	<b>-107.634.010</b>	<b>11.245.248</b>	<b>11.245.248</b>	<b>11.245.248</b>	<b>11.245.248</b>	<b>11.245.248</b>	<b>11.245.248</b>

## O.5. Indicadores económicos

Los indicadores económicos utilizados se describen a continuación, con su respectivas ecuaciones.

- Valor Actual de los Costos (VAC): Es el valor actualizado de los costos de inversión, operación y mantención. Esto significa que se traen todos los costos del proyecto a lo largo del horizonte de evaluación a valor presente, permitiendo comparar las alternativas en un mismo momento y con una misma moneda. El criterio de decisión será optar por aquella alternativa que presente un menor VAC [17].

$$VAC = I_0 + \sum_{t=0}^{he} \frac{C_t}{(1+r)^t}$$

Donde:

$I_0$ : Inversión inicial [CLP]

$C_t$ : Costo del año t del proyecto [CLP]

t: Tiempo [años]

r: Tasa Social de Descuento [%]

he: Horizonte de evaluación [años]

- Costo por Tonelada Tratada (CTT): Es igual al VAC dividido por el número de toneladas tratadas durante todo el horizonte de evaluación. Dado que las alternativas analizadas deben ser comparables en términos de calidad de servicio y deben incorporar obras y medidas de mitigación medio ambientales y sociales e internalizado sus costos, entonces la mejor alternativa de proyecto será aquella que presente el menor CTT [17].

$$CTT = \frac{VAC}{TT}$$

Donde:

TT: Toneladas tratadas durante todo el horizonte de evaluación [ton]

- Valor Actual Neto Social (VANS): Es el valor actualizado de los ingresos menos el valor actualizado de los costos, descontados de la tasa de descuento, durante la vida útil del proyecto. Si el proyecto tiene VANS positivo, es conveniente su ejecución; en caso contrario debe recomendarse su rechazo o reformulación. Si el VANS es cero, en ausencia de otro tipo de consideraciones, la sociedad debería ser indiferente a ejecutar o no el proyecto. No obstante, al tomar la decisión sobre la ejecución del proyecto, deben considerarse todos los beneficios y costos que no pudieron ser debidamente cuantificados y valorados [19].

$$VANS = I_0 + \sum_{t=0}^{he} \frac{B_t - C_t}{(1+r)^t}$$

Donde:

$I_0$ : Inversión inicial [CLP]

$B_t$ : Beneficio del año t del proyecto [CLP]

$C_t$ : Costo del año t del proyecto [CLP]

$t$ : Tiempo [años]

$r$ : Tasa Social de Descuento [%]

$he$ : Horizonte de evaluación [años]

- Tasa Interna de Retorno Social (TIRS): Corresponde a la tasa de descuento con la cual el VANS es cero, es decir, los ingresos actualizados son iguales a los costos actualizados. Explicado de otra forma, es la tasa de interés que debería aplicarse anualmente al flujo de caja de tal manera que la inversión original sea reducida a cero durante la vida útil del proyecto [19].

$$0 = \sum_{t=0}^{he} \frac{B_t - C_t}{(1+r)^t}$$

Como ejemplo de cálculo, se muestra el procedimiento realizado para estimar el VAC de la alternativa 1.

$$VAC = -128.871.073 + \sum_{t=0}^{20} \frac{C_t}{(1+0,06)^t}$$

$$VAC = -128.871.073 + \frac{46.275.246}{1,06^1} + \frac{46.275.246}{1,06^2} + \dots + \frac{162.376.403}{1,06^7} + \dots + \frac{46.275.246}{1,06^{20}}$$
$$= 788.210.053$$

P. Cotizaciones



Santiago, Julio 19 del 2017

Señores

**Ilustre Municipalidad de Cochamó**  
**Santiago Bueras s/n Río Puelo**  
**Cochamó**

**Att. Srta. Camila Aylwin Ríos**

## COTIZACIÓN

**Unidades Marca Chevrolet** **Precio Oferta Unitario**  
**Nuevas sin uso año 2017**

**Camión NKR 612 E5 para 3.700 kilos** **\$ 15.730.000.-**

**Furgón de Carga Gral. De 4.50 Mts. de**  
**Largo x 2.20 de Ancho y Alto** **\$ 2.380.000.-**

**Camión NPR 715 E5 para 4.400 kilos** **\$ 16.900.000.-**

**Furgón de Carga Gral. De 5 Mts. de**  
**Largo x 2.30 de Ancho y Alto** **\$ 2.620.000.-**

**Garantía del Camión 150.000 Kilómetros o 5 Años**

**Valores no incluyen IVA**

**Validez de la Cotización 28-07-2017**

Orden de Compra Contado o Leasing Bancario a:

**Automotora Inalco S. A.**

RUT: 81.198.400-0

Esperando una grata acogida a la presente les saluda muy atentamente,

**Eduardo Vergara Owen**

**Automotora Inalco S. A.**

**Av. Irarrázaval 1535 Ñuñoa**

**Fono 228349702 Cel. 994426649-958833512**

**Santiago**

**[evergara@inalco.cl](mailto:evergara@inalco.cl)**



☆ **Jaime Trombert**

19 de julio de 2017, 11:16

JT

Para: Camila Aylwin Rios Cc: Cristian Gallardo  
Re: Información de Compactadoras MacFab de Garibaldi S.A.



Estimada Camila;  
Muy buenos días!!!  
Por todos los datos proporcionados, podemos ofrecer dos modelos como alternativa para el desarrollo del proyecto;

**1.- Compactadora MacFab, modelo MF 75**

Precio de USD \$ 4.717,00.  
Disponibilidad a la fecha 03 unidades.

**2.- Compactadora MacFab, modelo MF 150**

Precio USD \$ 7.979,00  
Disponibilidad a la fecha 02 unidades.

Observaciones;  
Precios no consideran el IVA.  
Equipos puestos en bodegas de Quilicura Santiago, flete a destino final por cuenta de cliente.  
Puesta en marchas de los equipos por parte de nuestro servicio técnico sin costo adicional para el cliente en la zona de Puerto Montt.  
Se adjunta fichas técnicas para ambos modelos ofertados.  
Saludos cordiales.  
Jaime R. Trombert M.

**Jaime Trombert**

26 de julio de 2017, 22:56

JT

Para: Camila Aylwin Rios Cc: Cristian Gallardo  
Re: Información de Compactadoras MacFab de Garibaldi S.A.

Estimada Camila;  
El set de amarre compuesto por;  
1.- Tensor  
2.- Sellador  
3 Zuncho de 12 x 0,80 x 2.000 color blanco.  
4.- Caja de sello de 1/2 pulgada de 2.350 unidades.  
Sale aproximadamente \$ 120.000 con IVA.  
Posterior a esta primera compra vas reponiendo solo el zuncho y los sellos.  
Quedo atento a tus consultas, saludos.  
Jaime R. Trombert M.

**Jaime Trombert**

27 de julio de 2017, 12:57

JT

Para: Camila Aylwin Rios Cc: Cristian Gallardo  
Re: Información de Compactadoras MacFab de Garibaldi S.A.

Zuncho \$ 17.900.

Sellos \$ 25.850 caja con 2.350 u.

Valores mas IVA, puestos en Stgo.

Saludos.