



UNIVERSIDAD

Finis Terrae

**UNIVERSIDAD FINIS TERRAE
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA CIVIL INDUSTRIAL**

**RE-DISEÑO DEL PROCESO DE GESTIÓN DE RESIDUOS
DOMICILIARIOS PARA LA DIRECCIÓN DE MEDIOAMBIENTE DE
LA MUNICIPALIDAD DE LAMPA**

OSCAR IGNACIO MALDONADO BAHAMONDES

Trabajo de título presentado a la Facultad de Ingeniería de la Universidad Finis Terrae, para
optar al Título de Ingeniero/a Civil Industrial

Profesor Guía: María José Naranjo

Santiago, Chile

2025

DEDICATORIA

A mi mamá, Grace, por su valentía inquebrantable. Agradezco profundamente que hayas superado el cáncer y que hoy estés aquí conmigo, celebrando este logro. Tu fuerza me inspira cada día, y tu presencia en este momento es el regalo más valioso.

A mi papá, Carlos, por estar siempre, incluso en silencio. Aunque no siempre lo diga con palabras, sé que está detrás de cada paso que damos junto a mi hermana, acompañándonos con ese amor firme que se expresa más en los actos que en los gestos visibles. Gracias por sostenernos a tu manera.

A mi hermana, Constanza, mi mejor amiga y cómplice, por ser alegría, apoyo incondicional y refugio en los momentos difíciles. Gracias por caminar siempre a mi lado.

Y a la memoria de mi abuela, Magaly, que sé que le habría encantado estar hoy acompañándome. Su amor, su ejemplo y su presencia me acompañan y me guían. Esta tesis también es para ella.

AGRADECIMIENTOS

A mis abuelos, Berta y Carlos, por su cariño incondicional y por ser un pilar en mi vida desde siempre. Gracias por su sabiduría, su ternura y preocupación.

A Adriana y Verónica, por proporcionarme un hogar aun cuando el mío no se sentía así. Gracias por brindarme contención, refugio y calidez en momentos en los que más lo necesitaba.

A mis amigos y amigas: Ariel, Matías A., Matías U., Jorge, Camila, Daniel, Ingrid, Benjamin y Javiera. Gracias por acompañarme, hacerme reír y recordarme que incluso en los momentos más difíciles, no estaba solo. Cada uno de ustedes fue parte fundamental de este proceso, y les agradezco profundamente su compañía y afecto.

A María José, por mostrarme lo que verdaderamente significa la docencia y la dedicación. Con usted aprendí que enseñar también es acompañar, guiar y creer en el otro. Gracias por su compromiso y por dejar una huella en mi formación.

Finalmente, a Felipe, por estar a mi lado durante tantos años con paciencia, cariño y apoyo. Aunque nuestros caminos tomaron rumbos distintos, le guardo un profundo agradecimiento por haber sido parte de este proceso.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Situación Actual del Problema.....	1
1.2. Solución Propuesta.....	2
1.3. Objetivo General.....	3
1.4. Objetivos Específicos.....	3
1.5. Alcances y Limitaciones.....	3
2. ESTADO DEL ARTE.....	5
2.1. Separación de Residuos.....	5
2.1.1. Ley Rep.....	5
2.1.2. Estrategias Internacionales en la Separación de Residuos.....	7
2.1.3. Casos Destacados.....	8
2.2. Compostaje por Pila.....	8
2.2.1. En el Contexto Nacional.....	9
2.2.2. A Nivel Internacional.....	10
3. MARCO TEÓRICO.....	11
3.1. Proceso.....	11
3.2. Rediseño de Proceso.....	11
3.3. Economía Lineal.....	11
3.4. Economía Circular.....	12
3.5. Relleno Sanitario.....	12
3.6. Separación de Residuos.....	12
3.7. Residuos Sólidos.....	13
3.8. Residuos Orgánicos.....	13
3.9. Residuos Inorgánicos.....	13
3.10. Residuos Reciclables.....	14
3.11. Residuos No Reciclables.....	14
3.12. Compostaje.....	14
3.13. Compostaje por Pila.....	15
3.14. Modelamiento del Proceso.....	15
3.15. Modelamiento BPMN.....	15
3.16. Modelo As If.....	16
3.17. Modelo To Be.....	16
3.18. Evaluación Económica.....	16
3.19. Evaluación Ambiental.....	16
3.20. Evaluación Social.....	16
4. METODOLOGÍA.....	17
4.1. Realizar un diagnóstico del proceso actual de gestión de residuos domiciliarios de la	

comuna de Lampa.....	17
4.2. Realizar una proyección de la capacidad operativa, junto con el rediseño del proceso actual de gestión de residuos domiciliarios en la comuna de Lampa.....	18
4.3. Diseñar el área de separación de residuos del proceso.....	18
4.4. Diseñar el área de compostaje del proceso.....	18
4.5. Realizar un análisis económico, social y ambiental sobre la implementación del proceso.....	19
5. DESARROLLO.....	20
5.1. Diagnóstico de la Situación Actual de Generación y Gestión de Residuos en la Comuna de Lampa.....	20
5.1.1. Proceso Actual.....	22
5.2. Rediseño del Proceso de Gestión de Residuos y Proyección de Capacidad Operativa.....	25
5.2.1. Cálculo de la Generación de Residuos Per Cápita (2023).....	25
5.2.2. Proyección de la Población Futura.....	25
5.2.3. Proyección de Generación de Residuos Futura.....	26
5.3. Diseño del Área de Separación de Residuos.....	29
5.3.1. Recepción y Preclasificación de Residuos.....	29
5.3.2. Pretratamiento de Residuos.....	31
5.3.3. Separación Mecánica y Física.....	32
5.3.4. Separación Óptica y Manual.....	34
5.3.5. Tratamiento de Residuos Orgánicos.....	35
5.3.6. Tratamiento de Residuos Peligrosos.....	35
5.3.7. Compactación y Almacenamiento de Materiales Reciclables.....	36
5.3.8. Disposición Final de Residuos Valorizables.....	38
5.3.9. Disposición Final de Rechazos no Reciclables.....	39
5.3.10. Disposición Final de Rechazos Peligrosos.....	39
5.3.11. Modelo BPMN del Área de Separación.....	40
5.4. Diseño del Área de Compostaje del Proceso.....	43
5.4.1. Compostaje por Pila.....	43
5.4.2. Recepción y Preparación de Residuos Orgánicos.....	45
5.4.3. Formación de Pilas.....	46
5.4.4. Monitoreo y Control de Condiciones.....	46
5.4.5. Volteo y Aireación.....	47
5.4.6. Mantenimiento de Pilas.....	47
5.4.7. Maduración y Cosecha del Compost.....	48
5.4.8. Control de Calidad y Embalaje.....	48
5.4.9. Modelo BPMN del Área de Compostaje.....	49
5.5. Análisis de Factibilidad Económica, Social y Ambiental del Rediseño del Proceso de Gestión de Residuos.....	51
5.5.1. Análisis Económico.....	51

5.5.1.1. Análisis de Costo–Beneficio (ACB).....	54
5.5.1.2. Análisis de los Costos de Inversión (CAPEX).....	54
5.5.1.3. Costos Operacionales (OPEX).....	56
5.5.1.4. Flujo de Caja Proyectado.....	57
5.5.1.5. Payback Period.....	59
5.5.1.6. Punto de Equilibrio Operacional.....	60
5.5.1.7. Análisis Cualitativo y Comparativo de Beneficios del Modelo Actual vs. Modelo Propuesto.....	61
5.5.2. Análisis Ambiental.....	63
5.5.3. Análisis Social.....	64
5.5.3.1. Humedal de Batuco.....	64
5.5.3.2. Parque Comunal San Alberto Hurtado.....	65
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	66
7. GLOSARIO.....	68
8. LISTA DE ABREVIATURAS.....	69
9. BIBLIOGRAFÍA.....	70

ÍNDICE DE TABLAS E ILUSTRACIONES

Tabla 1. “Generación de Residuos Sólidos por Kilogramo en la Comuna de Lampa Durante el Año 2023”.....	20
Tabla 2. “Generación de Residuos Sólidos por Kilogramo en la Comuna de Lampa Durante el Año 2024”.....	21
Ilustración 1. “Modelo As If - Proceso Actual”.....	24
Ilustración 2. “Modelo To Be - Rediseño del Proceso Actual”.....	28
Ilustración 3. “Báscula Compacta Defender 5000”.....	30
Ilustración 4. “Cargador rontal SDLG LG938”.....	30
Ilustración 5. “Trituradora primaria de doble eje”.....	31
Ilustración 6. “Rotary Trommel Screen”.....	32
Ilustración 7. “Separador Magnético Manual”.....	33
Ilustración 8. “STEINERT EddyC”.....	33
Ilustración 9. “Tanque de separación”.....	34
Ilustración 10. “KIVERCO PS122 estación de recogida”.....	35
Ilustración 11. “Contenedor modular para productos químicos peligrosos MCV 6330”.....	36
Ilustración 12. “Prensa vertical B50”.....	37
Ilustración 13. “TOYOTA 8FGCU25 Forklift”.....	38
Ilustración 14. “Primera Parte del Modelo BPMN del Área de Separación del Rediseño del Proceso Actual de Gestión de Residuos Domiciliarios”.....	40

Ilustración 15. “Segunda Parte del Modelo BPMN del Área de Separación del Rediseño del Proceso Actual de Gestión de Residuos Domiciliarios”	41
Ilustración 16. “Tercera Parte del Modelo BPMN del Área de Separación del Rediseño del Proceso Actual de Gestión de Residuos Domiciliarios”	41
Ilustración 17. “Cuarta Parte del Modelo BPMN del Área de Separación del Rediseño del Proceso Actual de Gestión de Residuos Domiciliarios”	42
Ilustración 18. “Quinta Parte del Modelo BPMN del Área de Separación del Rediseño del Proceso Actual de Gestión de Residuos Domiciliarios”	42
Ilustración 19. “Sexta Parte del Modelo BPMN del Área de Separación del Rediseño del Proceso Actual de Gestión de Residuos Domiciliarios”	43
Ilustración 20. “SCARAB Freedom 4”	44
Ilustración 21. “Termómetro para Compostaje Compost Systems”	47
Ilustración 22. “Primera Parte del Modelo BPMN del Área de Compostaje del Rediseño del Proceso Actual de Gestión de Residuos Domiciliarios”	49
Ilustración 23. “Segunda Parte del Modelo BPMN del Área de Compostaje del Rediseño del Proceso Actual de Gestión de Residuos Domiciliarios”	50
Ilustración 24. “Tercera Parte del Modelo BPMN del Área de Compostaje del Rediseño del Proceso Actual de Gestión de Residuos Domiciliarios”	50
Ilustración 25. “Cuarta Parte del Modelo BPMN del Área de Compostaje del Rediseño del Proceso Actual de Gestión de Residuos Domiciliarios”	51
Tabla 3. Proporción de Residuos Valorizables”	52
Tabla 4. “Proyección de ingresos Generados por Venta de Residuos Valorizables”	53
Tabla 5. “Costos Asociados a Maquinaria Necesaria”	55
Tabla 6. “Costos Necesarios a Inversión Inicial”	55

Tabla 7. “Costos Asociados al Personal Necesario”	56
Tabla 8. “Costos Asociados al Transporte de Residuos no Valorizables”	57
Tabla 9. “Costos Asociados a la Operatividad de la Planta”	57
Tabla 10. “Flujo de Caja Proyectado a 10 años”	58
Tabla 11. “Indicadores Financieros del Proyecto”	58
Tabla 10. “Evaluación Comparativa de Criterios Estratégicos entre el Modelo de Gestión Externo y el Modelo Interno Propuesto”	62

RESUMEN

El presente trabajo de título abordó el rediseño del proceso de gestión de residuos domiciliarios en la comuna de Lampa, motivado por las deficiencias del modelo actual, caracterizado por baja trazabilidad, dependencia de terceros y ausencia de control operativo. El objetivo general fue proponer una alternativa de gestión interna que permitiera mejorar la eficiencia, sostenibilidad y autonomía del sistema.

Para ello, se realizó un diagnóstico de la situación actual, identificando los principales problemas y limitaciones del modelo vigente. Posteriormente, se diseñó un nuevo proceso de gestión que incluyó un área de separación de residuos y una área de compostaje, dimensionado en función de la proyección del volumen de residuos generados. Finalmente, se evaluó la viabilidad del modelo propuesto desde tres ejes: económico, ambiental y social.

Los resultados del análisis demostraron que el modelo interno propuesto es viable en los tres ámbitos evaluados. Si bien se identificó una inversión inicial elevada, las utilidades proyectadas a largo plazo resultaron significativas, permitiendo incluso la reinversión en proyectos comunitarios. No obstante, se destaca la importancia de mantener actualizados los contratos con las empresas valorizadoras y asegurar un plan de mantenimiento constante para los equipos utilizados en el proceso de separación, con el fin de garantizar la sostenibilidad del sistema en el tiempo.

Palabras Claves: Gestión de residuos domiciliarios, Valorización de residuos, Compostaje por pila, Economía circular, Modelo de gestión interna.

ABSTRACT

This thesis addressed the redesign of the household waste management process in the commune of Lampa, motivated by deficiencies in the current model, which is characterized by low traceability, third-party dependency, and lack of operational control. The main objective was to propose an internal management alternative aimed at improving the system's efficiency, sustainability, and autonomy.

To achieve this, a diagnostic of the current situation was carried out, identifying the main issues and limitations of the existing model. Subsequently, a new management process was designed, which included a waste separation area and a composting area, scaled according to projections of future waste generation. Finally, the feasibility of the proposed model was evaluated from three perspectives: economic, environmental, and social.

The results of the analysis showed that the proposed internal model is viable across all three evaluated dimensions. Although a high initial investment was identified, the long-term projected returns were significant, making reinvestment in community projects possible. Nonetheless, the importance of keeping contracts with waste recovery companies up to date and ensuring a constant maintenance plan for the equipment used in the separation process was emphasized, in order to guarantee the long-term sustainability of the system.

Keywords: Household waste management, Waste valorization, Windrow composting, Circular economy, Internal management model.

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Situación Actual del Problema

En la actualidad, el crecimiento de la población mundial ha estado marcado por un aumento significativo en el consumo de bienes. Como consecuencia directa, se incrementa también la cantidad de residuos generados, los cuales, si no son gestionados de manera adecuada, pueden ocasionar graves problemas de contaminación en el suelo, agua y aire, contribuyendo al mismo tiempo al cambio climático.

Afortunadamente, según Villamarín-García (2020), la separación y gestión de residuos domiciliarios ha mostrado un progreso notable. Este avance ha sido impulsado por diversos factores, tales como una mayor conciencia ambiental derivada de campañas educativas, la promulgación de leyes que exigen la clasificación de desechos en origen, el auge de la economía circular que promueve el reciclaje, y la optimización de los sistemas de recolección, los cuales facilitan una gestión más eficiente de los residuos [1].

No obstante, todavía existen muchos hogares que no gestionan adecuadamente sus desechos, lo que provoca que estos terminen en su totalidad en rellenos sanitarios. Esta situación conlleva una serie de consecuencias, como por ejemplo el impacto ambiental, el cual se manifiesta en la emisión de gases de efecto invernadero y en la posible contaminación de los suelos y aguas subterráneas. Asimismo, los malos olores y la proliferación de plagas deterioran la calidad de vida de las comunidades vecinas. A esto se suma el rechazo social, ya que las comunidades suelen oponerse a la instalación o expansión de rellenos sanitarios por temor a los efectos negativos sobre el medio ambiente y la salud pública. Por último, la lenta descomposición de los residuos y los altos costos operativos representan un obstáculo significativo para una gestión eficiente de estos sitios.

Ante esta realidad, resulta imprescindible que comunas como Lampa rediseñen y optimicen de manera urgente sus procesos de gestión de residuos.

En este contexto, y según estimaciones basadas en datos del Ministerio del Medio Ambiente y del Instituto Nacional de Estadísticas, la comuna de Lampa genera anualmente más de 40.000 toneladas de residuos domiciliarios [2], un problema que se ve exacerbado por los bajos niveles de separación y manejo adecuado desde el origen. Asimismo, es crucial destacar los elevados costos que la gestión de estos residuos representa para la

Municipalidad, especialmente considerando que se realiza bajo un modelo de economía lineal, lo que implica el desperdicio de materiales que podrían ser reutilizados o reciclados, contribuyendo a una mayor sostenibilidad económica y ambiental.

La implementación de un sistema más eficiente de gestión de residuos tendría un impacto altamente positivo en la comuna de Lampa. Desde una perspectiva económica, permitiría generar ingresos a partir de la valorización y venta de materiales reciclables. En el ámbito social, dichos ingresos podrían ser reinvertidos en proyectos que beneficien directamente a la comunidad, fortaleciendo el desarrollo local. Por su parte, en términos ambientales, Lampa tendría la oportunidad de posicionarse como una comuna pionera en la gestión integral de sus residuos, promoviendo un modelo de economía circular y extendiendo la vida útil de los materiales a través de su reutilización y aprovechamiento.

1.2. Solución Propuesta

Para abordar la problemática expuesta, se diseñó una planta integral de gestión de residuos basada en dos ejes principales. El primero fue la separación de los residuos domiciliarios que arriban al centro de acopio de la Dirección de Medio Ambiente de la comuna. Este proceso permitirá clasificar los residuos en cuatro categorías: residuos orgánicos, residuos valorizables, residuos no valorizables y residuos peligrosos.

En cuanto a los residuos valorizables, gracias al proceso de separación, estos serán enviados a instalaciones especializadas para su reciclaje, donde se convertirán en nuevas materias primas, y por los que, además, la Municipalidad de Lampa percibirá importantes ingresos.

Por otro lado, los residuos no valorizables y peligrosos, al no tener un uso posterior, serán trasladados a rellenos sanitarios y centros especializados para su disposición final, siguiendo los estándares normativos.

En relación con el segundo eje, los residuos orgánicos serán gestionados mediante la técnica de compostaje en pilas. Este método se destaca por su eficiencia, ya que permite la obtención de compost rico en nutrientes, al tiempo que presenta menores costos de operación y mantenimiento en comparación con otras técnicas de manejo de desechos orgánicos.

Este rediseño permitirá a la Municipalidad de Lampa lograr producir ingresos significativos, lo que les permita destinar recursos a otros servicios comunitarios. Finalmente, el compostaje mejorará la calidad del suelo y el entorno, enriqueciendo la tierra y favoreciendo el crecimiento de plantas y la biodiversidad, lo que beneficiará directamente a la comuna de Lampa.

1.3. Objetivo General

- Rediseñar el proceso actual de gestión de residuos domiciliarios dentro de la comuna de Lampa, con el fin de optimizar su eficiencia operativa y permitir la generación de ingresos a partir de la valorización de los residuos recolectados.

1.4. Objetivos Específicos

- Realizar un diagnóstico del proceso actual de gestión de residuos domiciliarios de la comuna de Lampa.
- Realizar una proyección de la capacidad operativa, junto con el rediseño del proceso actual de gestión de residuos domiciliarios en la comuna de Lampa.
- Diseñar el área de separación de residuos del proceso.
- Diseñar el área de compostaje del proceso.
- Realizar un análisis económico, social y ambiental sobre la implementación del rediseño del proceso actual.

1.5. Alcances y Limitaciones

El presente proyecto se enfocará exclusivamente en el rediseño del proceso de gestión de residuos en la comuna de Lampa con énfasis en la separación de residuos y el posterior compostaje de materia orgánica, por lo que este trabajo no contemplará la implementación de este. Para ello, se analizarán las necesidades técnicas asociadas a ambos procesos, así como los aspectos económicos, sociales y ambientales, con el fin de evaluar la viabilidad de la implementación.

No obstante, existen ciertas limitaciones que podrían dificultar el desarrollo de la investigación. La Dirección de Medio Ambiente de la Municipalidad de Lampa, al ser una entidad relativamente nueva, podría no contar con una base de datos lo suficientemente extensa sobre la generación de residuos orgánicos, lo que podría dificultar la obtención de

datos precisos para la evaluación. Además, el estudio se llevará a cabo en un plazo de tiempo limitado, lo cual podría restringir la profundidad del análisis y la recopilación de información. Finalmente, los resultados y recomendaciones de esta tesis estarán dirigidos específicamente a la realidad de la comuna de Lampa, por lo que su aplicación en otros contextos podría requerir adaptaciones particulares.

2. ESTADO DEL ARTE

2.1. Separación de Residuos

En el contexto de la gestión de residuos, la separación de residuos se refiere al proceso de clasificar y dividir los desechos en diferentes categorías según su tipo y características antes de su recolección y tratamiento.

Dentro de los aspectos clave de la separación de residuos se pueden encontrar:

- **Clasificación:** En este contexto, los residuos pueden ser divididos en cuatro categorías: orgánicos, valorizables, no valorizables y peligrosos
- **Orgánicos:** Corresponden a materiales biodegradables provenientes de restos de alimentos, frutas, verduras, cáscaras, café, té, y residuos de jardinería como hojas secas y césped.
- **Valorizables:** También conocidos como reciclables, incluyen materiales que pueden ser procesados para la fabricación de nuevos productos. Entre ellos se encuentran el papel, cartón, botellas plásticas PET, envases de vidrio, latas de aluminio, y metales ferrosos y no ferrosos.
- **No Valorizables:** Son aquellos residuos que, por sus características físicas o químicas, no pueden ser reciclados ni compostados. Esto incluye materiales como papel plastificado, pañales desechables, envases multicapa contaminados, cerámicas rotas y otros elementos sin posibilidad de recuperación.
- **Peligrosos:** Comprenden desechos que presentan riesgos para la salud humana o el medio ambiente, como pilas, baterías, aceites usados, productos químicos, aerosoles, medicamentos vencidos, vidrios rotos y elementos cortopunzantes. Estos deben ser manejados con especial precaución, almacenados en condiciones seguras y transportados a instalaciones autorizadas para su tratamiento o eliminación final conforme a la normativa vigente.

2.1.1. Ley Rep

En Chile, la gestión de residuos ha tomado un enfoque más proactivo en los últimos años, especialmente con la implementación de la Ley de Responsabilidad Extendida del Productor (REP). Esta ley, que entró en vigencia en 2016, busca promover la separación y

reciclaje de residuos a través de la responsabilidad compartida entre productores, consumidores y autoridades. Su objetivo es reducir la generación de residuos y fomentar una economía circular, donde los productos al final de su vida útil se reincorporen al ciclo productivo.

A pesar de los avances en la legislación, la separación de residuos en el país se enfrenta a múltiples limitantes. Según datos del Ministerio del Medio Ambiente, la tasa de reciclaje en Chile es aún baja en comparación con otros países de la región. Esto se debe a la falta de infraestructura adecuada para la recolección selectiva y a una limitada educación ambiental que impide a los ciudadanos separar correctamente sus residuos en el hogar.

La Ley REP obliga a los productores a hacerse cargo de la gestión de sus productos al final de su vida útil, lo que incluye la recolección, reciclaje y disposición adecuada. Desde su implementación, se han establecido sistemas de gestión de residuos para diversos productos, como envases y embalajes, neumáticos y productos eléctricos y electrónicos. Sin embargo, la efectividad de la ley ha variado significativamente entre las distintas comunas del país.

La investigación sobre la evaluación de la Ley REP ha revelado que, aunque se ha incrementado la conciencia sobre la importancia de la separación de residuos, muchas municipalidades aún carecen de la infraestructura necesaria para implementar sistemas efectivos de recolección selectiva. El estudio indica que las comunas más exitosas en la implementación de la ley son aquellas que han realizado un esfuerzo coordinado en educación ambiental y en la mejora de sus sistemas de recolección.

Entre los desafíos más destacados se encuentra la falta de contenedores para la recolección diferenciada y la insuficiencia de campañas de sensibilización que expliquen a los ciudadanos cómo realizar correctamente la separación de residuos. Además, la investigación señala que, a menudo, los sistemas de reciclaje existentes no son accesibles para todos los sectores de la población, lo que limita su efectividad.

Por otro lado, hay múltiples oportunidades para mejorar la situación. Se recomienda aumentar las inversiones en infraestructura de reciclaje y fomentar alianzas entre el sector público y privado para desarrollar iniciativas que promuevan la economía circular. Además,

es crucial fortalecer la educación ambiental desde una edad temprana para que las futuras generaciones adopten prácticas sostenibles de separación de residuos [3].

2.1.2. Estrategias Internacionales en la Separación de Residuos

Por otro lado, a nivel internacional, se han desarrollado diversas investigaciones y estrategias innovadoras que buscan optimizar la separación de residuos, contribuyendo a la sostenibilidad y a la reducción de la cantidad de desechos que terminan en vertederos. Una investigación reciente que se destaca en este ámbito es el estudio titulado "Innovative Strategies for Municipal Solid Waste Separation: A Review", publicado en el *Journal of Cleaner Production* en 2023. Este trabajo revisa diferentes enfoques adoptados por diversos países para mejorar la separación de residuos a nivel municipal, resaltando las mejores prácticas y las estrategias más efectivas.

El estudio analiza programas de separación de residuos en países como Alemania y Suecia, donde la gestión de residuos ha sido optimizada a través de políticas públicas, educación y el uso de tecnologías avanzadas. En el caso de Alemania, se ha implementado un sistema de recolección muy efectivo que utiliza contenedores diferenciados para reciclables, orgánicos y residuos no reciclables. Este enfoque ha llevado a tasas de reciclaje que superan el 60% en muchas ciudades alemanas, lo que demuestra la efectividad de la separación en la fuente y la concienciación pública sobre la importancia del reciclaje.

Suecia, por su parte, ha destacado por la incorporación de tecnología avanzada en la separación de residuos. La implementación de sistemas de clasificación automatizados ha permitido mejorar la eficiencia del reciclaje, reduciendo costos operativos y facilitando la recolección de materiales reciclables. Esto no solo optimiza el proceso, sino que también contribuye a un mayor volumen de materiales reciclados, lo que es crucial para cerrar el ciclo de vida de los productos.

El artículo también subraya la importancia de la colaboración entre gobiernos, empresas y comunidades para crear un marco efectivo para la separación de residuos. Sugerencias como la implementación de incentivos para el reciclaje y programas de concienciación son cruciales para el éxito de estas iniciativas a nivel global. Al unir esfuerzos y recursos, se pueden desarrollar estrategias más integrales que no solo mejoren la

separación de residuos, sino que también promuevan un cambio de comportamiento sostenible en la población [4].

2.1.3. Casos Destacados

Una de las empresas líderes en la gestión y separación de residuos en Chile es Recoleta S.A., una empresa que ofrece servicios integrales de recolección, transporte y tratamiento de residuos sólidos, tanto domiciliarios como industriales. Recoleta S.A. se destaca por implementar sistemas de separación en origen y centros de transferencia, donde se recuperan materiales reciclables antes de la disposición final de los desechos. Además, la empresa impulsa proyectos de valorización de residuos, promoviendo la economía circular y la reducción del impacto ambiental. [5]

A nivel internacional, una de las compañías líderes en gestión de residuos es Waste Management, Inc. (WM), con sede en Estados Unidos. Esta empresa ofrece servicios integrales que incluyen recolección, transporte, reciclaje y disposición final de residuos. Además, opera numerosas instalaciones de reciclaje y compostaje, destacándose por su enfoque en la sostenibilidad y su contribución a la economía circular. Su objetivo principal es reducir la cantidad de residuos enviados a rellenos sanitarios mediante la promoción del reciclaje y la recuperación de materiales. [6]

2.2. Compostaje por Pila

El compostaje por pila es un método de descomposición de materia orgánica que consiste en apilar los residuos orgánicos en montones o pilas para facilitar su descomposición. Este método es sencillo y efectivo, y se utiliza comúnmente en jardines, huertos y en proyectos de gestión de residuos a mayor escala.

Entre sus características se encuentran las siguientes:

- **Estructura de la pila:** Los materiales orgánicos se apilan en forma de montones, cuyo tamaño puede variar dependiendo de la cantidad de residuos disponibles. Generalmente, las pilas deben tener un tamaño adecuado para permitir una buena circulación del aire y facilitar la descomposición.
- **Materiales:** Se utilizan residuos orgánicos, como restos de alimentos, hojas secas, césped cortado, ramas pequeñas y otros desechos biodegradables. Es importante

mezclar materiales ricos en carbono (como hojas secas) con materiales ricos en nitrógeno (como restos de frutas y verduras) para lograr un equilibrio adecuado.

- **Aeración:** Las pilas deben ser volteadas periódicamente para asegurar la entrada de oxígeno, lo cual es crucial para la actividad de microorganismos que descomponen la materia orgánica. Esta acción ayuda a acelerar el proceso de descomposición y previene olores desagradables.
- **Temperatura:** Durante el proceso de compostaje, la pila genera calor debido a la actividad microbiana. Esta temperatura elevada es beneficiosa, ya que ayuda a descomponer los materiales más rápidamente y puede eliminar patógenos y semillas indeseadas.
- **Tiempo de descomposición:** Dependiendo de las condiciones y la mezcla de materiales, el compostaje por pila puede tardar desde unas pocas semanas hasta varios meses en producir compost maduro, que es un abono rico en nutrientes que puede utilizarse en jardines y cultivos.

En cuanto a los beneficios del compostaje por pila se pueden encontrar:

- **Eficiente:** Permite un manejo efectivo de grandes cantidades de residuos orgánicos.
- **Mejora del suelo:** El compost resultante enriquece el suelo, mejora su estructura y aumenta la retención de humedad.
- **Reducción de residuos:** Ayuda a disminuir la cantidad de residuos que se envían a rellenos sanitarios, contribuyendo a una gestión más sostenible de los desechos.
- **Cuidado del medio ambiente:** Promueve un enfoque más ecológico en la gestión de residuos y fomenta la reutilización de recursos naturales.

2.2.1. En el Contexto Nacional

Un ejemplo destacado a nivel nacional es el programa "Nos Compostamos Bien" de la Municipalidad de Santiago, que promueve la creación de pilas de compost en espacios comunitarios. Este enfoque ha permitido la participación activa de los vecinos, quienes no solo contribuyen con sus residuos orgánicos, sino que también aprenden sobre la importancia del reciclaje y el manejo sostenible de residuos [7].

La tendencia hacia la implementación de diferentes técnicas de compostaje en Chile no solo refleja un cambio en la percepción de la gestión de residuos, si no como también la reutilización y el reciclaje están ganando terreno frente a las prácticas tradicionales de disposición final gracias al apoyo de políticas públicas, programas comunitarios y el compromiso de los ciudadanos.

2.2.2. A Nivel Internacional

A nivel internacional, una de las tendencias más destacadas en el compostaje por pila es la implementación de tecnologías avanzadas para optimizar el proceso. Por ejemplo, en varios países europeos, se están utilizando sensores para monitorear y controlar variables clave como la temperatura, la humedad y la relación carbono-nitrógeno en las pilas de compost. Esto permite ajustar las condiciones de compostaje en tiempo real, mejorando la eficiencia del proceso y reduciendo el tiempo necesario para obtener compost de calidad [8].

En Estados Unidos, varias iniciativas comunitarias están adoptando el compostaje por pila como una forma de reducir la cantidad de residuos orgánicos que terminan en los vertederos. Proyectos como el "Composting in Place" están diseñados para facilitar el compostaje en hogares y comunidades, proporcionando a los residentes la capacitación y los recursos necesarios para implementar sus propios sistemas de compostaje por pila [9].

En Australia, el compostaje por pila se ha integrado en las políticas de gestión de residuos en varias ciudades. Por ejemplo, algunas municipalidades han implementado programas que combinan la recolección de residuos orgánicos con la creación de pilas de compost en áreas comunitarias [10].

En Asia, países como Japón y Corea del Sur están implementando prácticas de compostaje por pila en el contexto de sus estrategias de gestión de residuos. En Japón, se están promoviendo sistemas de compostaje comunitario que utilizan pilas para procesar residuos orgánicos en áreas urbanas, fomentando la participación ciudadana y el reciclaje de nutrientes en el suelo. Por otro lado, Corea del Sur ha implementado programas de educación para enseñar a los ciudadanos sobre la importancia del compostaje y cómo realizarlo de manera efectiva [11].

3. MARCO TEÓRICO

3.1. Proceso

Un proceso es una serie de pasos o etapas organizadas que se llevan a cabo para lograr un objetivo específico. Se caracteriza por tener un inicio, un desarrollo y un final, y puede aplicarse en diferentes contextos, como en la producción, la gestión, la administración, la educación y otros ámbitos. En términos generales, un proceso incluye [12]:

1. **Entrada:** Son los recursos, información o materiales necesarios para iniciar el proceso.
2. **Actividades:** Son las acciones o tareas que se realizan durante el proceso para transformar las entradas en salidas.
3. **Salida:** Son los resultados o productos generados al final del proceso.
4. **Retroalimentación:** Información sobre el desempeño del proceso que puede utilizarse para mejorarlo en el futuro.

3.2. Rediseño de Proceso

El rediseño de procesos implica primero documentar y analizar el proceso actual para identificar ineficiencias. Luego, se establecen objetivos específicos y se generan alternativas de diseño, seleccionando la mejor opción. Se elabora un plan de implementación que incluye capacitación y comunicación de cambios. Durante la ejecución del nuevo proceso, se supervisa la transición y se ajusta según la retroalimentación obtenida. Finalmente, se documenta el nuevo proceso para garantizar su consistencia, buscando así optimizar la eficiencia y mejorar la satisfacción del cliente [13].

3.3. Economía Lineal

La economía lineal es un modelo económico tradicional que se basa en un ciclo de producción y consumo lineal. Este modelo sigue tres etapas principales: extracción, producción y desecho [14]:

1. **Extracción:** Se obtienen recursos naturales, como minerales, petróleo y madera, sin un enfoque en la sostenibilidad o el reciclaje.

2. **Producción:** Los recursos se transforman en productos que son diseñados para ser consumidos rápidamente, a menudo con una vida útil corta.
3. **Desecho:** Al finalizar su uso, los productos se convierten en residuos, generalmente desechados en vertederos o incinerados, contribuyendo a la contaminación y el agotamiento de recursos.

3.4. Economía Circular

La economía circular es un modelo económico que busca reducir el desperdicio y maximizar la reutilización de recursos. A diferencia de la economía lineal, que se basa en "tomar, hacer y desechar", la economía circular promueve un ciclo continuo de uso y regeneración en base a algunos principios como [15]:

1. **Reducción de Residuos:** Diseñar productos y procesos que generen menos desechos.
2. **Reutilización y Reparación:** Fomentar la reutilización de productos y su reparación en lugar de desecharlos.
3. **Reciclaje:** Recoger materiales al final de su vida útil para crear nuevos productos.
4. **Sostenibilidad:** Promover un uso responsable de los recursos naturales.
5. **Innovación:** Impulsar el diseño de productos duraderos y fáciles de reciclar.

3.5. Relleno Sanitario

Un relleno sanitario es un sitio designado para la disposición final de residuos sólidos. Este tipo de instalación se utiliza para enterrar desechos de manera controlada, minimizando su impacto ambiental y protegiendo la salud pública. Los rellenos sanitarios están diseñados con barreras y sistemas de drenaje que evitan la contaminación del suelo y del agua. Los residuos se compactan y se cubren regularmente con tierra u otros materiales para reducir su volumen y minimizar olores. Además, se realizan controles y monitoreos para detectar posibles fugas y asegurar que no haya contaminación [16].

3.6. Separación de Residuos

La separación de residuos es el proceso de clasificar los desechos en diferentes categorías según su tipo y características. Este procedimiento es esencial para facilitar el reciclaje, la reutilización y la gestión adecuada de los desechos. La separación se puede

realizar en la fuente, donde se generan los residuos, o en instalaciones de tratamiento de residuos. Los principales tipos de separación incluyen materiales reciclables como papel, cartón, vidrio, plástico y metales, así como residuos orgánicos, peligrosos y no reciclables. Una adecuada separación de residuos contribuye a la reducción de la cantidad de desechos que terminan en los vertederos y mejora la eficiencia de los procesos de reciclaje y compostaje [17].

3.7. Residuos Sólidos

Los residuos sólidos son desechos generados por actividades humanas que tienen una forma sólida y no son líquidos ni gaseosos. Estos pueden incluir una amplia variedad de materiales, como residuos domésticos, industriales, comerciales y de construcción. Se clasifican generalmente en varias categorías, como residuos orgánicos, inorgánicos, reciclables y peligrosos. La gestión adecuada de los residuos sólidos es crucial para minimizar su impacto ambiental, proteger la salud pública y promover la sostenibilidad. Esto implica su recolección, transporte, tratamiento y disposición final, buscando siempre reducir la generación de residuos y fomentar el reciclaje y la reutilización [18].

3.8. Residuos Orgánicos

Los residuos orgánicos son desechos biodegradables que provienen de organismos vivos. Estos incluyen restos de alimentos, residuos de jardinería, papel y cartón no tratado, y otros materiales naturales. Su correcta gestión es importante porque, al descomponerse, pueden generar compost, que es un enmienda rica en nutrientes para el suelo. La separación y el reciclaje de residuos orgánicos contribuyen a reducir la cantidad de desechos que van a los vertederos, disminuyen las emisiones de gases de efecto invernadero y promueven prácticas de agricultura sostenible [19].

3.9. Residuos Inorgánicos

Los residuos inorgánicos son desechos que no provienen de organismos vivos y no son biodegradables. Incluyen materiales como plásticos, metales, vidrio, cerámica, y otros productos sintéticos. Estos residuos pueden ser reciclables o no reciclables. La correcta gestión de los residuos inorgánicos es esencial para minimizar su impacto ambiental, ya que

muchos de estos materiales pueden permanecer en el medio ambiente durante largos períodos. La separación en la fuente y el reciclaje de residuos inorgánicos ayudan a reducir la cantidad de desechos en vertederos y fomentan la reutilización de materiales, contribuyendo a la sostenibilidad y a la conservación de recursos [20].

3.10. Residuos Reciclables

Los residuos reciclables son aquellos desechos que pueden ser procesados y transformados en nuevos productos. Estos incluyen materiales como papel, cartón, plástico, vidrio y metales. La correcta separación y clasificación de los residuos reciclables son fundamentales para facilitar su recolección y posterior procesamiento. Al reciclar, se reduce la cantidad de desechos que llegan a los vertederos, se ahorran recursos naturales y se disminuyen las emisiones de gases de efecto invernadero [21].

3.11. Residuos No Reciclables

Los residuos no reciclables son aquellos desechos que no pueden ser procesados o transformados en nuevos productos a través del reciclaje. Estos incluyen materiales que no tienen un mercado de reciclaje viable, como ciertos tipos de plásticos (por ejemplo, plásticos contaminados), empaques mixtos, residuos de productos electrónicos dañados, y algunos tipos de cerámica y vidrio. La gestión de residuos no reciclables es crucial, ya que suelen terminar en vertederos o incineradoras. Es importante reducir la generación de este tipo de residuos mediante la promoción de alternativas sostenibles y el uso de materiales que sean reciclables o biodegradables, contribuyendo así a una gestión de residuos más responsable y eficiente [22].

3.12. Compostaje

El compostaje es un proceso biológico de descomposición de materia orgánica, como restos de alimentos, hojas, y residuos de jardinería, que se transforma en un abono natural llamado compost. Este proceso se lleva a cabo mediante la acción de microorganismos, lombrices y otros organismos que descomponen los materiales en un entorno controlado. Asimismo, tiene varios beneficios, incluyendo la reducción de residuos orgánicos en

vertederos, la mejora de la salud del suelo al agregar nutrientes, y la promoción de un ciclo de nutrientes más sostenible [23].

3.13. Compostaje por Pila

El compostaje por pila es una técnica de compostaje que consiste en apilar los residuos orgánicos en montones o pilas, donde se permite que la materia se descomponga de manera aeróbica. Este método es eficiente y fácil de implementar, ya que requiere poco equipamiento y puede utilizarse para grandes cantidades de materia orgánica. En el compostaje por pila, es crucial asegurar una adecuada aireación y mantener un balance adecuado entre materiales verdes (ricos en nitrógeno) y marrones (ricos en carbono) para favorecer la actividad microbiana. Con el tiempo, y tras un adecuado manejo, la pila se transforma en compost, el cual puede ser utilizado como un fertilizante natural en la agricultura y la jardinería [24].

3.14. Modelamiento del Proceso

El modelamiento del proceso es una técnica utilizada para representar de manera visual y estructurada las distintas etapas de un proceso específico. Este enfoque permite identificar, analizar y optimizar las operaciones involucradas, facilitando la comprensión de cómo fluyen los insumos, las actividades y los resultados a lo largo del ciclo del proceso. En el contexto de la gestión de residuos, el modelamiento del proceso puede ser esencial para identificar inefficiencias, cuellos de botella y oportunidades de mejora, así como para diseñar un sistema más eficiente que minimice costos y maximice la recuperación de recursos. Mediante el uso de herramientas como diagramas de flujo, se puede visualizar claramente cada etapa del proceso, lo que ayuda en la toma de decisiones y en la implementación de soluciones efectivas [25].

3.15. Modelamiento BPMN

El modelamiento BPMN (Business Process Model and Notation) es una metodología estandarizada utilizada para representar gráficamente los procesos de negocio mediante diagramas de flujo. Su objetivo es facilitar la comprensión, análisis y mejora de procesos a través de una notación clara y universalmente aceptada [26].

3.16. Modelo As If

El modelo As-Is representa el estado actual de un proceso tal como se ejecuta en la práctica. Permite identificar ineficiencias, cuellos de botella y oportunidades de mejora, sirviendo como punto de partida para el rediseño [27].

3.17. Modelo To Be

El modelo To-Be describe la versión optimizada o ideal de un proceso, incorporando mejoras estructurales, tecnológicas u operativas. Este modelo proyecta cómo debería funcionar el proceso tras la implementación de cambios propuestos [28].

3.18. Evaluación Económica

Se centra en la viabilidad financiera del proyecto, analizando costos, ingresos, y beneficios. Incluye herramientas como el análisis de costo-beneficio y la evaluación del retorno de la inversión. El objetivo es determinar si el proyecto generará un valor económico positivo y si es financieramente sostenible [29].

3.19. Evaluación Ambiental

Examina los impactos que el proyecto puede tener en el medio ambiente. Esto incluye el análisis de emisiones, el uso de recursos naturales, y la generación de residuos. Se busca identificar posibles efectos negativos y proponer medidas para mitigarlos, asegurando que el proyecto cumpla con las normativas ambientales y contribuya a la sostenibilidad [30].

3.20. Evaluación Social

Analiza los efectos del proyecto sobre las comunidades y grupos sociales. Esto incluye la evaluación de aspectos como la creación de empleo, el acceso a servicios, y el impacto en la calidad de vida. Se busca garantizar que el proyecto beneficie a las comunidades locales y promueva la equidad social [31].

En conjunto, estas evaluaciones ayudan a tomar decisiones informadas sobre la implementación de proyectos, asegurando que sean sostenibles y beneficiosos desde el punto de vista económico, ambiental y social.

4. METODOLOGÍA

Para cumplir con los objetivos definidos en este estudio, se llevará a cabo una serie de pasos y etapas metodológicas que guiarán el desarrollo de cada uno de los objetivos planteados. Esta metodología incluye la descripción detallada de los métodos y procedimientos a emplear para la implementación efectiva de las acciones propuestas. A través de un enfoque sistemático y riguroso, se buscará obtener resultados precisos que permitan evaluar la situación actual en la comuna en torno a la gestión de residuos, dimensionar adecuadamente la planta propuesta, diseñar áreas específicas para la separación y compostaje de residuos, y realizar un análisis integral que considere los aspectos económicos, sociales y ambientales relacionados con la implementación del proyecto. Esta estructura metodológica asegurará que todas las fases del estudio estén interconectadas y contribuyan de manera significativa al logro de los objetivos generales y específicos planteados en la investigación.

4.1. Realizar un diagnóstico del proceso actual de gestión de residuos domiciliarios de la comuna de Lampa

Se realizará una revisión exhaustiva de la información proporcionada por la Municipalidad de Lampa y su Dirección de Medio Ambiente, con el objetivo de comprender en detalle el contexto operativo actual. Esta recopilación incluirá datos cuantitativos y cualitativos sobre la cantidad y tipo de residuos generados en la comuna, así como información adicional proveniente de organismos regionales y nacionales relacionados con la gestión de residuos sólidos.

Paralelamente, se llevará a cabo un análisis detallado del proceso actual de gestión de residuos domiciliarios, abarcando cada una de sus etapas: recolección, transporte, acopio, clasificación y disposición final. Este diagnóstico permitirá identificar de manera precisa los principales cuellos de botella, ineficiencias operativas, limitaciones estructurales y brechas tecnológicas presentes en el modelo vigente.

4.2. Realizar una proyección de la capacidad operativa, junto con el rediseño del proceso actual de gestión de residuos domiciliarios en la comuna de Lampa

A partir de los datos obtenidos en el diagnóstico, se proyectará el crecimiento de la generación de residuos a mediano y largo plazo, considerando el crecimiento poblacional y las tendencias actuales en la producción de residuos domiciliarios. En función de esta proyección, se determinará la capacidad operativa necesaria para un sistema de gestión eficiente y sostenible. Sobre esta base, se procederá al rediseño del proceso de gestión de residuos, el cual será estructurado conforme a las necesidades operativas detectadas y a las deficiencias identificadas en el modelo actual. Dicho rediseño será representado mediante el modelo To-Be, el cual permitirá visualizar de forma clara y estructurada el funcionamiento del nuevo proceso propuesto, facilitando su análisis, validación y posterior implementación.

4.3. Diseñar el área de separación de residuos del proceso

Se diseñará un proceso que optimice el flujo de residuos desde la etapa de recepción hasta las áreas de separación y almacenamiento, asegurando una gestión eficiente y segura en cada fase. En el diseño se considerarán aspectos clave, como los procesos específicos de separación según las distintas categorías de residuos, estableciendo las fases operativas y el equipamiento técnico requerido para cada una. La selección de tecnologías se realizará en función de su capacidad para maximizar la recuperación de materiales valorizables, minimizar la generación de residuos no aprovechables y reducir los costos operativos asociados al tratamiento. Finalmente, el flujo detallado del área de separación será representado mediante modelamiento BPMN, lo que permitirá visualizar de forma estructurada y estandarizada cada etapa del proceso, facilitando su comprensión, análisis y posible implementación.

4.4. Diseñar el área de compostaje del proceso

Se utilizará la técnica de compostaje por pila, dado que se adapta de manera adecuada tanto al espacio disponible como al volumen de residuos orgánicos generados en la comuna. En función de ello, se diseñará la infraestructura necesaria para llevar a cabo este proceso, considerando el dimensionamiento del área, el control de variables críticas como temperatura, humedad y aireación, y la adecuada gestión de lixiviados. Además, se incorporarán sistemas de monitoreo que permitan supervisar y optimizar el desarrollo del

compostaje, con el objetivo de asegurar la obtención de un producto final de calidad y minimizar eventuales impactos negativos, tales como la emisión de olores molestos o la proliferación de vectores. Finalmente, el flujo operativo del área de compostaje será representado mediante modelamiento BPMN, lo que permitirá visualizar de forma clara, estructurada y estandarizada cada etapa del proceso, facilitando su comprensión técnica y su posible implementación.

4.5. Realizar un análisis económico, social y ambiental sobre la implementación del proceso

Se llevará a cabo un análisis integral que permita evaluar la viabilidad del modelo propuesto desde tres ejes fundamentales: económico, ambiental y social. En el eje económico, se analizará la viabilidad del proyecto en función de la inversión inicial requerida, los costos operacionales y de mantenimiento, así como los ingresos proyectados provenientes de la valorización de materiales reciclables. Esta evaluación permitirá determinar si el proyecto genera beneficios netos suficientes para justificar su implementación.

En el eje ambiental, se examinarán los beneficios que el proyecto podría generar para la comuna, tales como la reducción de la cantidad de residuos enviados a rellenos sanitarios y el aprovechamiento de los residuos orgánicos a través del compostaje. Asimismo, se evaluará cómo la implementación del modelo propuesto contribuiría a una mejora significativa en los estándares locales de sostenibilidad, posicionando a Lampa como una comuna referente en materia de gestión responsable de residuos sólidos.

Desde el eje social, se evaluará cómo los ingresos generados por la planta podrían ser reinvertidos en iniciativas comunitarias, tales como programas de educación ambiental, fortalecimiento de espacios públicos o proyectos de sustentabilidad local. Asimismo, se analizará el potencial del modelo para fomentar la participación ciudadana y la concienciación en torno a la correcta separación de residuos.

Cada uno de estos componentes será abordado con una metodología mixta, integrando herramientas cuantitativas y cualitativas, y detallado en el desarrollo del estudio, con el fin de sustentar la viabilidad técnica, económica y social del rediseño del proceso de gestión de residuos en la comuna de Lampa.

5. DESARROLLO

5.1. Diagnóstico de la Situación Actual de Generación y Gestión de Residuos en la Comuna de Lampa

Lampa es una comuna de la Región Metropolitana de Chile que ha experimentado un crecimiento importante en las últimas décadas. Según el Censo de 2017 del Instituto Nacional de Estadísticas (INE), Lampa tenía una población de 102.034 habitantes, lo que representa un incremento notable en comparación con los 47.000 habitantes registrados en el censo de 2002 [32]. Este aumento se ha debido principalmente a su cercanía con Santiago y a su atractivo como zona semi-rural con terrenos más accesibles para la construcción de viviendas.

Además, la expansión urbana ha incrementado la generación de residuos domiciliarios. Según datos proporcionados por la Dirección de Medio Ambiente de la Municipalidad de Lampa, durante el año 2023 se generaron en promedio 4.695.527,5 de kilogramos de residuos sólidos.

Año	Mes	Kilogramos Generados
2023	Enero	4651560
	Febrero	4088970
	Marzo	4641940
	Abril	4193300
	Mayo	4873240
	Junio	4525690
	Julio	4870490
	Agosto	5142700
	Septiembre	4923060
	Octubre	4896240
	Noviembre	4670370
	Diciembre	4869630

Tabla 1. “Generación de Residuos Sólidos por Kilogramo en la Comuna de Lampa Durante el Año 2023”.
Fuente: Dirección de Medio Ambiente de Lampa.

Por otro lado, durante el año 2024, se registró una generación promedio de 4.838.370 de kilogramos de residuos sólidos.

Año	Mes	Kilogramos Generados
2024	Enero	5001350
	Febrero	4819770
	Marzo	4831060
	Abril	4981920
	Mayo	4740600
	Junio	4277040
	Julio	5266310
	Agosto	4834910
	Septiembre	4792370
	Octubre	4912357
	Noviembre	4935287
	Diciembre	5219387

*Tabla 2. “Generación de Residuos Sólidos por Kilogramo en la Comuna de Lampa Durante el Año 2024”.
Fuente: Dirección de Medio Ambiente de Lampa.*

Al analizar los datos proporcionados, se puede observar que entre los años 2023 y 2024 hubo un aumento de aproximadamente un 3.04% en la generación de residuos sólidos. Este incremento respalda lo mencionado previamente en relación con el crecimiento poblacional en la comuna.

Por otro lado, según datos proporcionados por el Ministerio del Medio Ambiente (2022), en Chile, la proporción de residuos sólidos generados en los hogares indica que aproximadamente el 58% corresponde a materia orgánica, mientras que el 42% restante se clasifica como materia inorgánica, que incluye plásticos, vidrios y metales. A partir de los datos entregados por la Dirección de Medio Ambiente sobre la generación de residuos del año 2023, se estima que mensualmente la comuna de Lampa genera alrededor de 2.723.405,95 kilogramos de materia orgánica y 1.972.121,34 kilogramos de materia inorgánica [33].

5.1.1. Proceso Actual

Actualmente, la Municipalidad de Lampa ha adoptado un modelo de gestión de residuos reciclables que no implica costos directos para la administración municipal, delegando completamente la operación a entidades externas en el marco de la Ley de Responsabilidad Extendida del Productor.

En este contexto, la recolección y gestión de los residuos sólidos domiciliarios es ejecutada íntegramente por la Asociación MSUR, en calidad de gestor autorizado bajo la normativa de la Ley REP. MSUR asume la operación logística completa del programa, incluyendo la propiedad y operación de los camiones de recolección, la contratación de choferes, peonetas, personal de bodega y administración del acopio.

El financiamiento total del programa es proporcionado por RESIMPLE, un Sistema de Gestión reconocido bajo la Ley REP, que actúa como intermediario entre las empresas que introducen envases y embalajes al mercado nacional —como Coca-Cola, Carozzi, entre otras— y las operaciones de recolección y valorización de residuos. Estas empresas financian los sistemas de gestión como RESIMPLE para dar cumplimiento a las metas de reciclaje exigidas por el reglamento.

La Municipalidad de Lampa mantiene un convenio de colaboración vigente con ambas organizaciones, en el cual se estipula que RESIMPLE financiará el 100% de los costos del programa en la comuna. La única contribución de la Municipalidad consiste en el pago de una membresía mensual para formar parte de la Asociación MSUR, sin incurrir en gastos adicionales por concepto de recolección, transporte o disposición de residuos.

El proceso actual de gestión de residuos domiciliarios en la comuna de Lampa comienza con la labor operativa de 12 trabajadores y la utilización de una flota compuesta por 4 camiones recolectores. Estos equipos recorren diariamente distintas rutas previamente establecidas dentro del territorio comunal con el objetivo de retirar los desechos generados por los hogares. La planificación de las rutas y la frecuencia de recolección responden a criterios de cobertura territorial y volumen estimado de generación de residuos por sector.

Una vez recolectados, los residuos son transportados al centro de acopio ubicado en la zona “El Patroncito”, ex Hogar de Cristo, el cual es gestionado directamente por la Dirección de Medio Ambiente de la Ilustre Municipalidad de Lampa.

En el centro de acopio, las bolsas que contienen los residuos domiciliarios son abiertas manualmente para dar inicio a la etapa de clasificación visual y manual, llevada a cabo por un equipo compuesto por 10 operarios. Durante esta primera fase, se realiza una separación inicial que tiene como finalidad identificar y extraer aquellos residuos que se consideran peligrosos o no valorizables —como pilas, elementos cortopunzantes o residuos sanitarios—, con el objetivo de evitar su mezcla con materiales que podrían ser reutilizados o reciclados.

Posteriormente, se ejecuta una segunda ronda de clasificación, también de forma manual, en la cual se separan los residuos valorizables (como plásticos, cartones, metales y vidrios) de aquellos que no pueden ser reincorporados a procesos de economía circular.

Los residuos valorizables son gestionados por empresas externas que han sido licitadas a través del sistema RESIMPLE. Estas empresas acuden periódicamente al centro de acopio para retirar los materiales previamente clasificados, los cuales son posteriormente trasladados a sus respectivas plantas para ser procesados, reciclados o comercializados según su tipo y calidad.

Por su parte, los residuos considerados como peligrosos o no valorizables, al no ser aptos para recuperación ni reuso, son nuevamente embolsados bajo condiciones seguras y transportados al relleno sanitario ubicado en la comuna de Tiltil.

Si bien este sistema funciona, esta modalidad de gestión genera algunas consecuencias que resultan importantes de analizar. Al delegar completamente la operación a MSUR y RESIMPLE, la Municipalidad de Lampa pierde control y trazabilidad sobre el proceso operativo de la gestión de residuos de la comuna. Esto implica que no existen siquiera indicadores de rendimiento ni KPI establecidos para monitorear si el proceso es eficiente o no, lo que limita significativamente la capacidad de evaluar y mejorar el desempeño del sistema. Además, pierde también la posibilidad de percibir ingresos derivados de la valorización del material reciclable, ya que los recursos obtenidos de la venta de los materiales quedan en manos de RESIMPLE y son administrados en función de sus propios

costos operativos, sin retorno económico para la comuna. Esta situación representa una oportunidad desaprovechada de generación de recursos que podrían haberse reinvertido en iniciativas locales de sustentabilidad o educación ambiental.

Adicionalmente, la separación y clasificación de residuos sanitarios es realizada de forma manual, lo que incrementa el riesgo de que un porcentaje significativo de residuos que sí podrían ser valorizados termine, debido a un manejo ineficiente, en el relleno sanitario de TilTil.

Con el fin de visualizar de manera clara el proceso actual de gestión de residuos reciclables en la comuna de Lampa, se empleará el modelamiento AS IF, lo que permitirá representar de manera estructurada cada etapa, desde la recolección domiciliaria hasta la operación de acopio y el posterior transporte de residuos.

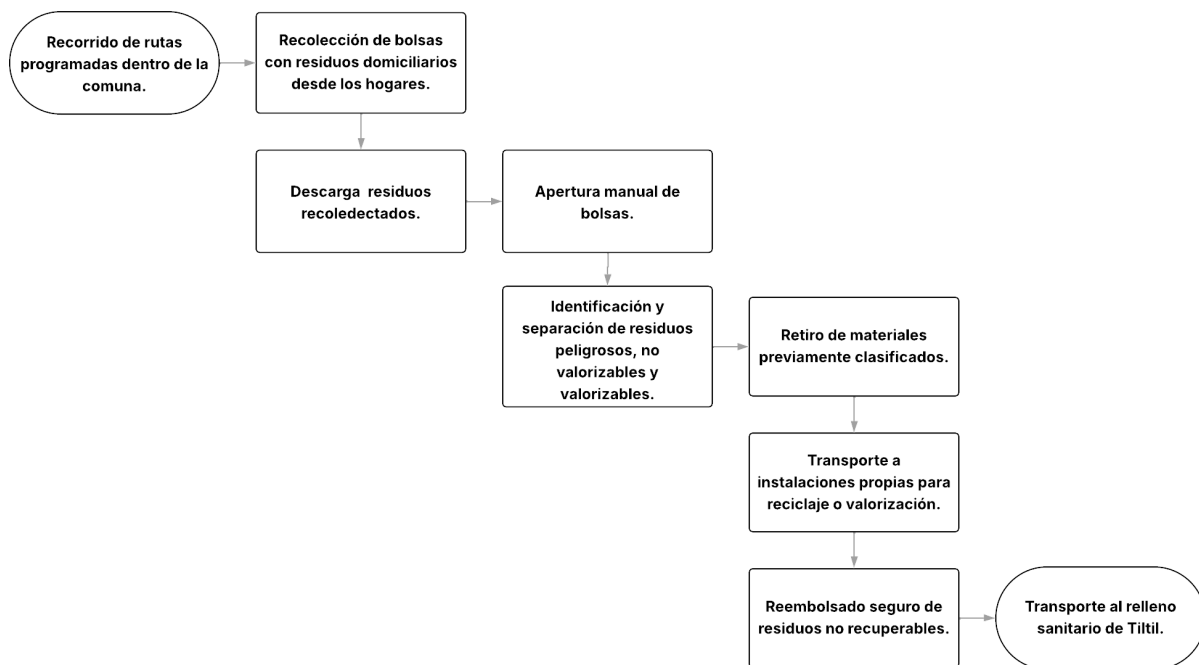


Ilustración 1. “Modelo As If - Proceso Actual”. Fuente: Elaboración propia.

5.2. Rediseño del Proceso de Gestión de Residuos y Proyección de Capacidad Operativa

Para el rediseño del proceso actual, es fundamental realizar un análisis de la capacidad que debe poseer el nuevo proceso para gestionar los volúmenes de residuos sólidos generados en la comuna. Esto es particularmente importante, ya que con el paso de los años, la generación de residuos domiciliarios tiende a aumentar debido al crecimiento poblacional y cambios en los hábitos de consumo. Por lo tanto, el rediseño del proceso debe ser capaz de manejar esta creciente demanda para evitar sobrecargar la infraestructura existente y asegurar una gestión eficiente y sostenible a largo plazo.

A continuación, se detallan los cálculos realizados para proyectar tanto la generación futura de residuos como el crecimiento esperado de la población en la comuna

5.2.1. Cálculo de la Generación de Residuos Per Cápita (2023)

En 2023, la comuna generó un total de 56.347.190 kg de residuos sólidos domiciliarios. Con una población registrada de 139.266 habitantes, se calculó la generación de residuos per cápita mediante la relación:

$$\textit{Generación per cápita} = \frac{\textit{Generación total de residuos}}{\textit{Población total}}$$

Fórmula 1. "Generación Per Cápita de Residuos". Fuente: Elaboración propia.

El resultado muestra que cada habitante genera en promedio 404,39 kg de residuos al año. Este dato es clave para proyectar la cantidad de residuos que la planta deberá procesar en el futuro.

5.2.2. Proyección de la Población Futura

La población actual de la comuna se proyectó considerando una tasa de crecimiento anual del 0,5%, aplicando la fórmula de crecimiento exponencial:

$$\textit{Población proyectada} = \textit{Población actual} \times (1 + \textit{Tasa de crecimiento})^n$$

Fórmula 2. "Población Proyectada". Fuente: Elaboración propia.

Donde n representa el número de años del horizonte temporal. Las proyecciones para cada periodo son las siguientes:

- **Horizonte a 5 años (2028):**

$$139,266 \times (1 + 0.005)^5 = 142.588 \text{ habitantes}$$

La población proyectada para 2028 será de **142.588 habitantes**.

- **Horizonte a 10 años (2033):**

$$139,266 \times (1 + 0.005)^{10} = 146.030 \text{ habitantes}$$

La población proyectada para 2033 será de **146.030 habitantes**.

- **Horizonte a 20 años (2043):**

$$139,266 \times (1 + 0.005)^{20} = 157.612 \text{ habitantes}$$

La población proyectada para 2043 será de **157.612 habitantes**.

5.2.3. Proyección de Generación de Residuos Futura

Para estimar la generación de residuos en el futuro, se utilizó la generación per cápita calculada para 2023, equivalente a 404,39 kg/habitante/año, y se multiplicó por las proyecciones de población para los horizontes temporales definidos. De esta manera, se obtiene una estimación del volumen de residuos sólidos que la planta deberá gestionar en cada periodo.

- **Año 2028:** Con una población proyectada de 142.588 habitantes, la generación de residuos estimada asciende a 57.661.162 kg.
- **Año 2033:** Para una población de 146.030 habitantes, se estima una generación de 59.030.072 kg.
- **Año 2043:** Con una población proyectada de 157.612 habitantes, la generación de residuos alcanzará aproximadamente 63.736.717 kg.

En base a lo anterior, es posible notar cómo en los próximos 20 años se proyecta un incremento sostenido en la generación de residuos sólidos domiciliarios, impulsado directamente por el crecimiento poblacional y el consecuente aumento en la producción de desechos. Es justamente este escenario el que exige una revisión y rediseño del sistema de gestión actual para asegurar su sostenibilidad a largo plazo. Las proyecciones indican que la generación anual de residuos podría superar las 63.700 toneladas, lo que plantea la necesidad de un rediseño estructural del sistema actual para garantizar su sostenibilidad en el largo plazo.

5.2.4. Rediseño del Proceso

Para el rediseño del proceso actual, se tomarán en cuenta dos ejes principales. Por un lado, la separación de residuos, que consistirá en clasificar los diferentes tipos de desechos generados en la comuna de Lampa para facilitar su gestión, reciclaje y disposición adecuada. Esta práctica implica dividir los residuos en categorías específicas, como orgánicos, reciclables (papel, cartón, plástico, vidrio y metales) y residuos no reciclables. Esta separación se llevará a cabo mediante el diseño de un sistema compuesto por máquinas y tecnología que permitirán realizar este proceso de manera eficiente y automatizada, optimizando así la clasificación en la planta de reciclaje y asegurando que cada tipo de residuo sea dirigido a su correspondiente destino de tratamiento o reciclaje.

Además, el impacto económico que tendrá la implementación de un sistema de separación de residuos en la comuna de Lampa es significativo y se manifestará en varios aspectos. Si bien es cierto que el costo de inversión inicial para el diseño e instalación de la infraestructura necesaria y la adquisición de tecnología puede ser elevado, este gasto debe ser visto como una inversión estratégica a largo plazo. La eficiencia que se logrará con este nuevo proceso permitirá reducir considerablemente los gastos recurrentes que enfrenta la municipalidad en la actualidad, derivados de la recolección y disposición de residuos.

Por otro lado, la separación de residuos facilitará el reciclaje y la valorización de los mismos, generando ingresos adicionales a través de la venta de materiales reciclables. Este enfoque no solo contribuirá a la sostenibilidad ambiental de la comuna, sino que también impulsará una economía circular que puede resultar beneficiosa en términos de generación de empleo y desarrollo local. Esto permitirá enviar al relleno sanitario solo lo que no puede

ser reutilizado, disminuyendo los costos de disposición y transporte, y permitiendo aprovechar material que sí puede ser reciclado.

En cuanto al segundo eje, este girará en torno al compostaje, un proceso esencial en la gestión de residuos orgánicos. Gracias a la implementación de un sistema de separación de residuos, no solo se obtendrá materia inorgánica, sino que también se generará una cantidad significativa de materia orgánica. Esta fracción orgánica, que incluye restos de alimentos, hojas, y otros desechos biodegradables, será trasladada a un área específica de compostaje dentro de la planta.

En este espacio, se implementará la técnica del compost por pila, que se caracteriza por la formación de montones o pilas de residuos orgánicos que se gestionan de manera controlada. Este método permite una adecuada ventilación y humedad, factores cruciales para la descomposición eficiente de la materia orgánica. A lo largo del proceso de compostaje, los microorganismos y otros organismos descomponedores trabajarán para transformar los residuos en un abono rico en nutrientes, conocido como compost. Este compost resultante será un recurso valioso para la comuna, ya que podrá ser utilizado para mejorar la calidad del suelo en parques, jardines y espacios verdes.

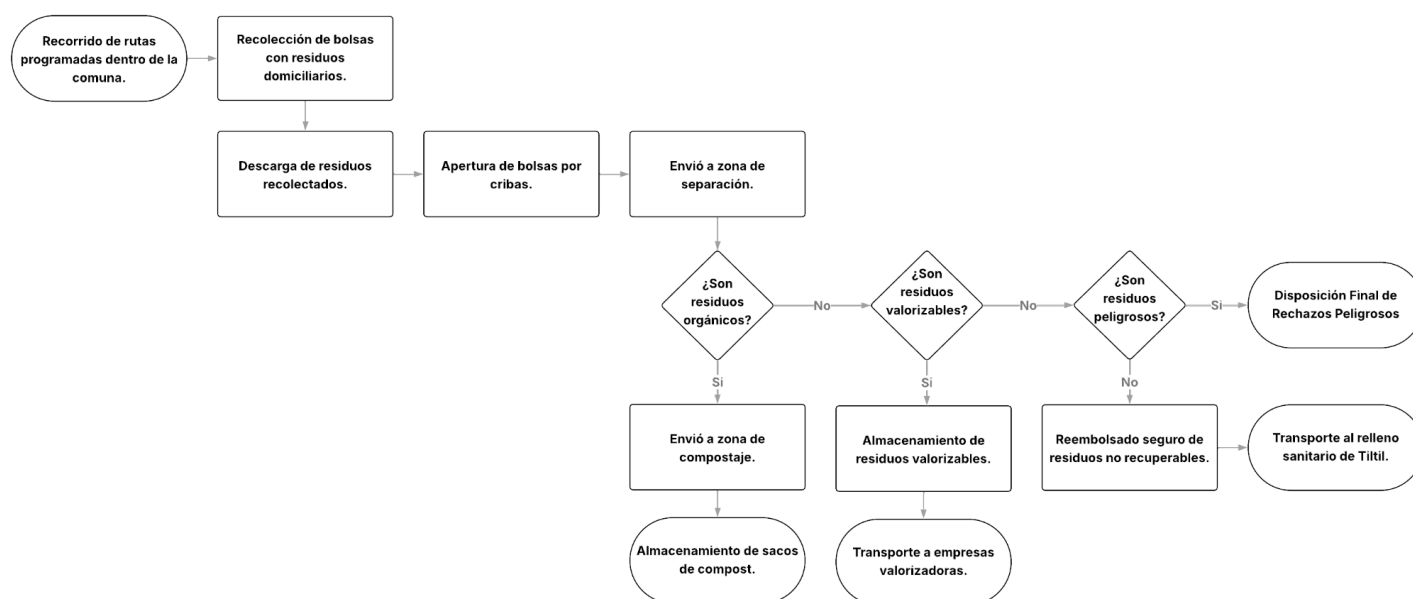


Ilustración 2. “Modelo To Be - Rediseño del Proceso Actual”. Fuente: Elaboración propia.

5.3. Diseño del Área de Separación de Residuos

Uno de los grandes desafíos que enfrenta actualmente la municipalidad es la ejecución manual del proceso de separación de residuos sólidos domiciliarios, lo que limita la eficiencia operativa y expone a los trabajadores a riesgos físicos innecesarios. Este método tradicional de separación, además de ser poco eficiente, no permite gestionar adecuadamente el creciente volumen de residuos que genera la comuna.

En respuesta a esta problemática, a continuación, se presenta el diseño de un área de separación optimizada. Este diseño integra maquinaria económica y eficiente, así como un equipo de operarios capacitados. El enfoque del diseño busca mejorar significativamente la productividad y reducir los riesgos laborales, alineándose con las mejores prácticas de gestión de residuos.

El proceso propuesto abarca desde la recepción y preclasificación de residuos hasta la disposición final de rechazos, incluyendo etapas clave como el pretratamiento, la separación mecánica y óptica, y la compactación de materiales reciclables.

5.3.1. Recepción y Preclasificación de Residuos

La recepción y preclasificación de residuos constituye la etapa inicial del proceso de gestión en la planta, diseñada para garantizar un manejo eficiente y seguro del material entrante. En esta etapa, los residuos llegarán a la planta mediante camiones recolectores, donde serán descargados en el área de recepción.

El pesaje es un paso crítico, ya que permite llevar un control riguroso de los volúmenes procesados y proporciona datos esenciales para la planificación y optimización de las siguientes etapas del proceso. Este procedimiento se realizará por medio de dos básculas industriales portátiles, marca OHAUS, modelo Defender 5000, cada una con una capacidad de hasta 10 toneladas por pesaje. Estas básculas son robustas, precisas y diseñadas específicamente para operaciones de gran volumen, asegurando resultados confiables incluso en condiciones operativas exigentes. Estarán a cargo de dos operarios dedicados al control de básculas y al registro de pesos en el sistema correspondiente.



Ilustración 3. "Báscula Compacta Defender 5000". Fuente: <https://www.probasculas.mx>.

Posteriormente, se llevará a cabo una inspección visual inicial para identificar y retirar manualmente elementos voluminosos o peligrosos que puedan dañar el equipo o comprometer la seguridad del proceso. Este trabajo será realizado por cuatro operarios, quienes revisarán cuidadosamente el material y extraerán cualquier residuo no adecuado para el procesamiento automático. Este paso es crucial para prevenir averías en la maquinaria y garantizar la integridad del sistema.

Para apoyar el manejo físico de los residuos y optimizar las tareas de transporte interno, se dispondrá de tres cargadores frontales, marca SDLG, modelo L938F, con una capacidad de carga de 2-3 toneladas por operación.



Ilustración 4. "Cargador frontal SDLG LG938". Fuente: <https://ascendum.mx>

5.3.2. Pretratamiento de Residuos

En esta etapa, el pretratamiento de los residuos sólidos iniciará con la apertura de las bolsas que contienen el material, lo que permitirá exponer su contenido y facilitar su posterior clasificación. Este procedimiento se realizará mediante desgarradoras diseñadas para procesar grandes volúmenes de residuos de manera eficiente. Una vez abiertas las bolsas, los residuos se dirigirán a las cribas rotativas, también conocidas como trommels, donde serán clasificados según su tamaño. Durante este proceso, se separará la fracción fina, compuesta principalmente por restos orgánicos menores a 80 mm, de la fracción gruesa, que incluye plásticos, metales, vidrio y textiles mayores a 80 mm.

El pretratamiento requerirá un equipo humano compuesto por ocho operarios. Dos de ellos supervisarán el funcionamiento de las desgarradoras, verificando su desempeño y resolviendo cualquier inconveniente técnico. Otros dos operarios se encargarán de la supervisión de las cribas rotativas, asegurando que los materiales sean clasificados correctamente según su tamaño. Los cuatro operarios restantes realizarán el retiro manual de elementos que no pueden ser procesados por las máquinas, garantizando así la limpieza y la eficiencia del flujo de residuos.

Para llevar a cabo estas actividades, se necesitarán dos desgarradoras básicas marca Forrec, modelo TB 300, cada una con una capacidad de procesamiento de hasta 10 toneladas por hora.



Ilustración 5. "Trituradora primaria de doble eje". Fuente: <https://www.forrec.es>

Además, se utilizarán dos cribas rotativas marca Tuffman, modelo Trommel 722, con una capacidad de procesamiento de 15 toneladas por hora cada una.



Ilustración 6. "Rotary Trommel Screen". Fuente: <https://www.tuffmanequipment.com>

5.3.3. Separación Mecánica y Física

En esta etapa del proceso, se implementará tecnología avanzada para la separación de materiales reciclables con base en sus propiedades físicas y químicas. Inicialmente, se realizará una separación magnética, utilizando equipos diseñados para extraer metales ferrosos presentes en los residuos, como hierro y acero. Este paso asegurará que estos materiales sean aislados para su posterior reciclaje. Posteriormente, se llevará a cabo la separación de metales no ferrosos, como aluminio, cobre y bronce, utilizando equipos que operan bajo el principio de corrientes de Foucault. Finalmente, los residuos restantes serán sometidos a una separación por densidad mediante el uso de tanques de flotación, los cuales permitirán separar plásticos ligeros de materiales más densos como el vidrio, garantizando un flujo limpio de materiales.

El funcionamiento eficiente de esta etapa requerirá la participación de nueve operarios, distribuidos estratégicamente para maximizar la productividad. Tres operarios serán responsables de supervisar los separadores magnéticos, asegurando su correcto funcionamiento y resolviendo cualquier inconveniente técnico. Otros tres operarios manejarán los separadores de corrientes de Foucault, controlando la eficiencia del proceso y ajustando los parámetros operativos según sea necesario. Los tres operarios restantes se encargarán del mantenimiento y supervisión de los tanques de flotación, asegurando que las

condiciones del proceso, como la densidad y el flujo de agua, sean óptimas para la separación.

En el caso de la separación magnética, se utilizarán tres separadores magnéticos manuales marca Eriez, modelo Manual Suspended Magnet, diseñados para garantizar la extracción eficiente de metales ferrosos.



Ilustración 7. "Separador Magnético Manual". Fuente: <https://www.cimm.com.br>

Para la separación de metales no ferrosos, se emplearán dos separadores por corrientes de Foucault marca Steinert, modelo CanMaster, los cuales destacan por su precisión en la extracción de metales ligeros como aluminio y cobre.



Ilustración 8. "STEINERT EddyC". Fuente: <https://steinertglobal.com/es>

Finalmente, el proceso de separación por densidad utilizará dos tanques de flotación básicos marca Herbold Meckesheim, modelo Basic Separator, que permitan la separación precisa de materiales en función de su densidad.



Ilustración 9. “Tanque de separación”. Fuente: <https://www.herbold.com/>

5.3.4. Separación Óptica y Manual

En esta etapa, se llevará a cabo la separación manual de residuos en estaciones de triaje especialmente diseñadas para maximizar la eficiencia y minimizar el esfuerzo físico de los operarios. Este proceso es crucial para garantizar la calidad del material clasificado, ya que permitirá identificar y separar manualmente los residuos reciclables que no fueron completamente procesados en las etapas anteriores. Las estaciones de triaje estarán equipadas con mesas de clasificación ergonómicas, diseñadas para facilitar el acceso a los materiales y optimizar las condiciones de trabajo, asegurando tanto la productividad como el bienestar de los operarios.

La operación de esta etapa requerirá la participación de 24 operarios, distribuidos en 4 mesas de clasificación, con 6 operarios por mesa. Cada grupo de operarios se encargará de inspeccionar visualmente los materiales y separarlos en diferentes categorías, como plásticos, vidrio, metales y otros residuos reciclables. Esta distribución de tareas garantizará un flujo continuo y eficiente del proceso, al tiempo que permitirá una supervisión constante de los materiales que ingresan a la estación.

Para realizar estas actividades, la planta estará equipada con 4 mesas de clasificación manual, marca Kiverco, modelo PS122, diseñadas específicamente para operaciones de separación de residuos.



Ilustración 10. “KIVERCO PS122 estación de recogida”. Fuente: <https://mysamulder.es/kiverco>

5.3.5. Tratamiento de Residuos Orgánicos

El detalle de la estación de Residuos Orgánicos será desarrollado con mayor profundidad en un apartado específico más adelante. En dicho apartado, se proporcionará una descripción detallada de las actividades que se llevan a cabo, así como de los recursos humanos y tecnológicos necesarios para su implementación.

5.3.6. Tratamiento de Residuos Peligrosos

En esta etapa del proceso, se realizará la gestión de residuos peligrosos, que comprenderá su clasificación, almacenamiento temporal y transporte seguro hacia empresas certificadas para su disposición final.

Los residuos peligrosos serán clasificados inicialmente para identificar su tipo y características específicas, lo que permitirá determinar el método más adecuado para su

disposición. Posteriormente, se almacenarán temporalmente en contenedores especializados diseñados para garantizar su confinamiento seguro hasta que sean transportados.

Esta etapa requerirá un equipo de 3 operarios. Dos de ellos se encargarán de la clasificación de los residuos y su correcto almacenamiento en los contenedores, asegurándose de que cada tipo de residuo peligroso sea manejado de acuerdo con sus propiedades específicas. El tercer operario tendrá la responsabilidad de coordinar el transporte, asegurando que se cumplan todos los requisitos legales y logísticos para el traslado seguro de los residuos hacia las empresas encargadas de su disposición final.

Para esta actividad, la planta cuenta con 10 contenedores especializados, marca DENIOS, modelo SimpleBox, diseñados específicamente para el almacenamiento seguro de residuos peligrosos. Estos contenedores cumplen con estrictas normativas internacionales, ofreciendo protección contra fugas, derrames y otros riesgos asociados al manejo de este tipo de materiales.



Ilustración 11. "Contenedor modular para productos químicos peligrosos MCV 6330". Fuente: <https://www.denios.es>

5.3.7. Compactación y Almacenamiento de Materiales Reciclables

En esta etapa del proceso, se realizará la compactación y almacenamiento de los materiales reciclables para optimizar su manejo, facilitar su transporte y reducir el espacio requerido para su almacenamiento. La compactación permitirá disminuir significativamente

el volumen de los materiales reciclables, lo que resulta esencial para maximizar la eficiencia en la logística y minimizar los costos asociados al transporte.

Los materiales reciclables que llegarán a esta etapa serán introducidos en prensas hidráulicas compactas que generarán fardos uniformes y de alta densidad. Una vez compactados, los fardos serán transportados y organizados en el área de almacenamiento mediante montacargas, garantizando su disposición ordenada y segura dentro de las bodegas hasta su envío final.

Este proceso requerirá la participación de 6 operarios, quienes desempeñarán funciones específicas para asegurar la eficiencia de las operaciones. Dos operarios estarán a cargo de la operación de las prensas hidráulicas, asegurando el correcto funcionamiento del equipo y la producción de fardos compactos y uniformes. Otros dos operarios manejarán los montacargas, transportando los materiales compactados al área de almacenamiento. Finalmente, dos operarios adicionales serán responsables de la organización dentro de las bodegas, asegurando el uso eficiente del espacio y facilitando el acceso a los materiales almacenados.

Para llevar a cabo estas tareas, la planta estará equipada con 2 prensas hidráulicas compactas, marca Bramidan, modelo B50.



Ilustración 12. “Prensa vertical B50”. Fuente: <https://www.bramidan.es>

Asimismo, se utilizan 2 montacargas, marca Toyota, modelo 8FGCU25, que destacan por su robustez y maniobrabilidad, permitiendo un transporte ágil y seguro de los materiales compactados dentro de las instalaciones.



Ilustración 13. “TOYOTA 8FGCU25 Forklift”. Fuente: <https://northstarforklift.com/product/toyota-8fgcu25-forklift-2>

5.3.8. Disposición Final de Residuos Valorizables

Con los residuos valorizables ya separados, se procederá a su almacenamiento temporal, para luego ser transportados a empresas especializadas en la gestión de cada tipo de material, seleccionadas cuidadosamente en función de los grandes volúmenes generados mensualmente.

En el caso del plástico, que incluye polímeros reciclables como PET y PEAD, los residuos serán enviados a Cruplas Chile, una de las principales recicladoras de plásticos del país.

Para el papel y cartón recuperado, se estableció un acuerdo con SOREPA (Sociedad Recuperadora de Papeles), la principal recicladora de papel y cartón en Chile, garantizando un procesamiento adecuado para su reintegración en la cadena productiva.

Los residuos metálicos, incluyendo aluminio y metales ferrosos, serán gestionados por Aceros AZA, líder nacional en el reciclaje de chatarra ferrosa.

En cuanto al vidrio, este será enviado a Cristalerías Chile, uno de los mayores recicladores de vidrio en el país, que facilita su transformación en nuevos envases.

Finalmente, otros tipos de residuos que no pueden ser valorizados mediante reciclaje convencional, como envases tipo Tetra Pak, serán gestionados por Hope Reciclaje, empresa especializada en el tratamiento de materiales difíciles de reciclar.

5.3.9. Disposición Final de Rechazos no Reciclables

Los rechazos no reciclables serán enviados al relleno sanitario de Tiltil para su disposición final. Esta operación se realizará conforme a un convenio que fue establecido por medio de la Dirección de Medio Ambiente de Lampa junto a la administración del relleno sanitario en el marco del presente proyecto. Este acuerdo permitirá asegurar que los rechazos no valorizables sean tratados de manera adecuada y cumpliendo con la normativa vigente en materia de disposición final de residuos.

5.3.10. Disposición Final de Rechazos Peligrosos

En esta última etapa del proceso, se llevará a cabo la disposición final de los rechazos peligrosos. Estos residuos, que no pueden ser reciclados o reutilizados en etapas previas, serán gestionados de acuerdo con las normativas vigentes en la gestión de residuos sólidos.

Para cumplir con las exigencias legales, es fundamental que los residuos peligrosos sean correctamente clasificados y declarados en el Sistema de Declaración y Seguimiento de Residuos Peligrosos (SIDREP), tal como lo establece el Decreto Supremo N° 148 del Ministerio de Salud, que regula el manejo de estos residuos en Chile. Esto garantiza la trazabilidad de los residuos y el cumplimiento con las normativas ambientales en cada etapa del proceso [12].

En este caso, el gestor seleccionado para los residuos peligrosos será Hidronor Chile, una empresa especializada que cuenta con centros de tratamiento y disposición final para

estos residuos en la zona centro del país. Hidronor opera instalaciones diseñadas específicamente para el manejo de grandes volúmenes de residuos peligrosos.

5.311. Modelo BPMN del Área de Separación

A continuación, se presenta el rediseño mapeado del proceso de gestión de residuos sólidos domiciliarios, representado en un diagrama BPMN. Este modelo propone un enfoque optimizado que busca mejorar la eficiencia operativa, reducir costos y minimizar los impactos ambientales asociados al manejo de los residuos. El diseño contempla la incorporación de nuevas tecnologías, la redistribución de roles y la implementación de buenas prácticas que garantizarán un tratamiento más eficiente y sostenible de los desechos.

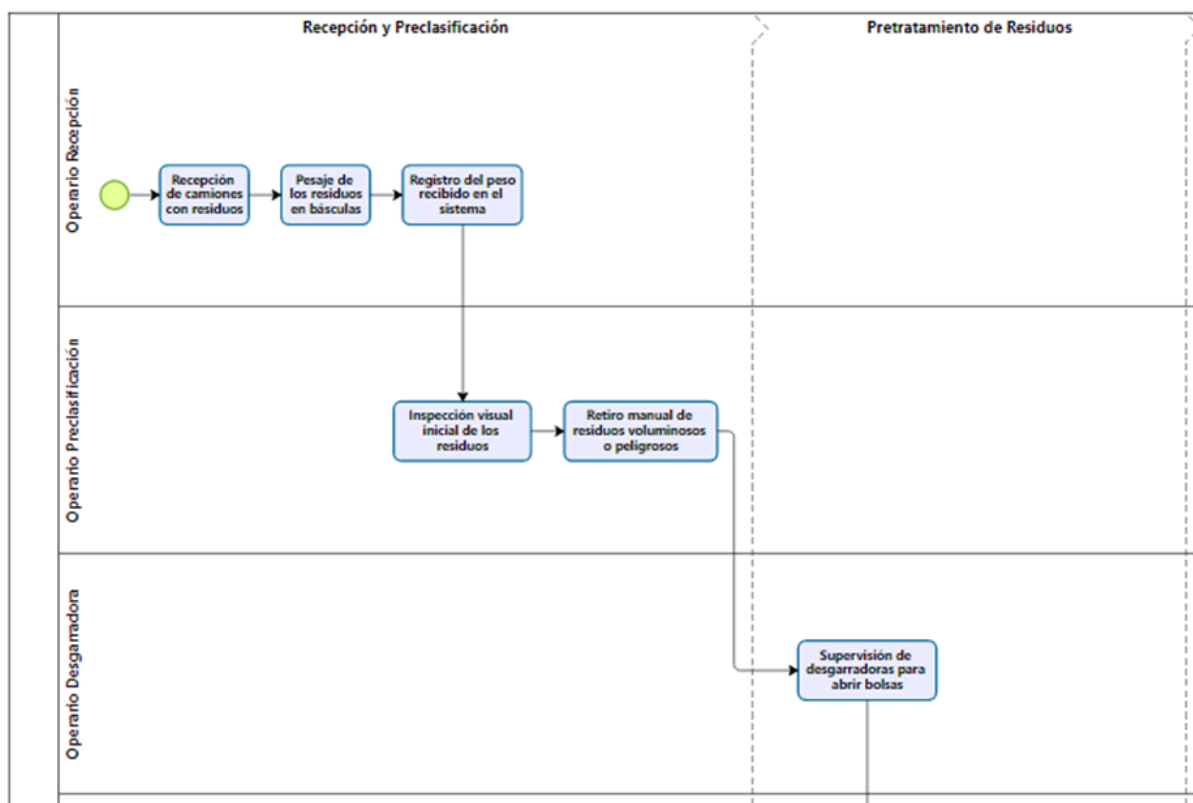


Ilustración 14. “Primera Parte del Modelo BPMN del Área de Separación del Rediseño del Proceso Actual de Gestión de Residuos Domiciliarios”. Fuente: Elaboración propia.

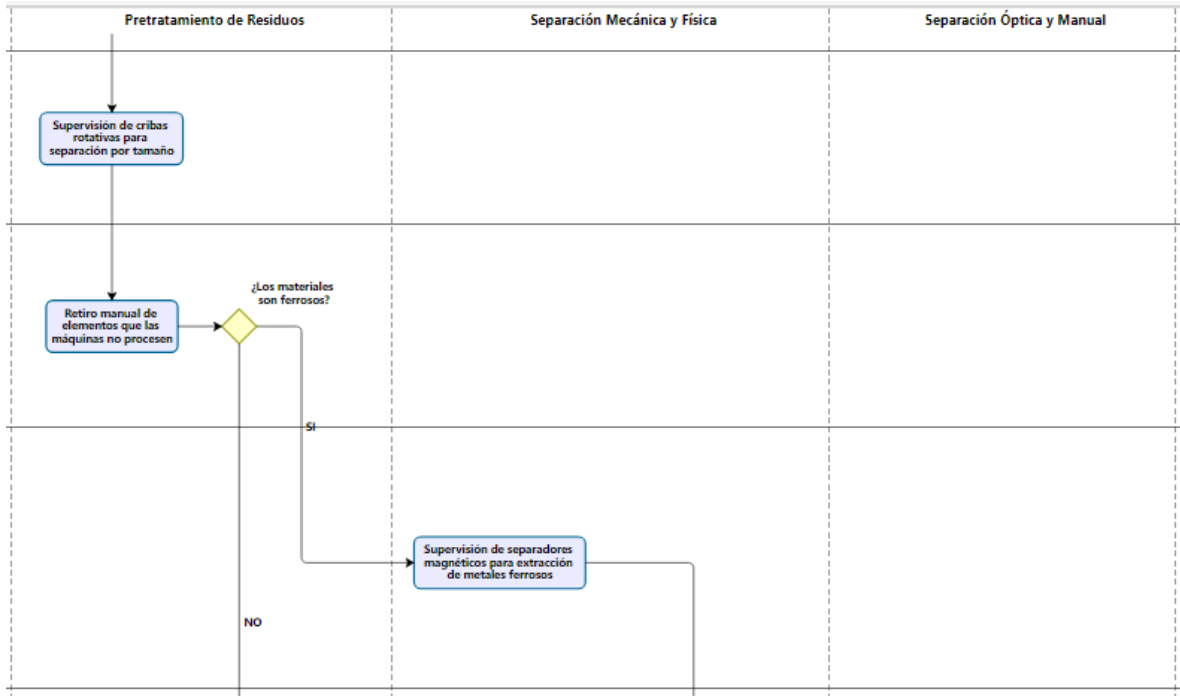


Ilustración 15. "Segunda Parte del Modelo BPMN del Área de Separación del Rediseño del Proceso Actual de Gestión de Residuos Domiciliarios". Fuente: Elaboración propia.

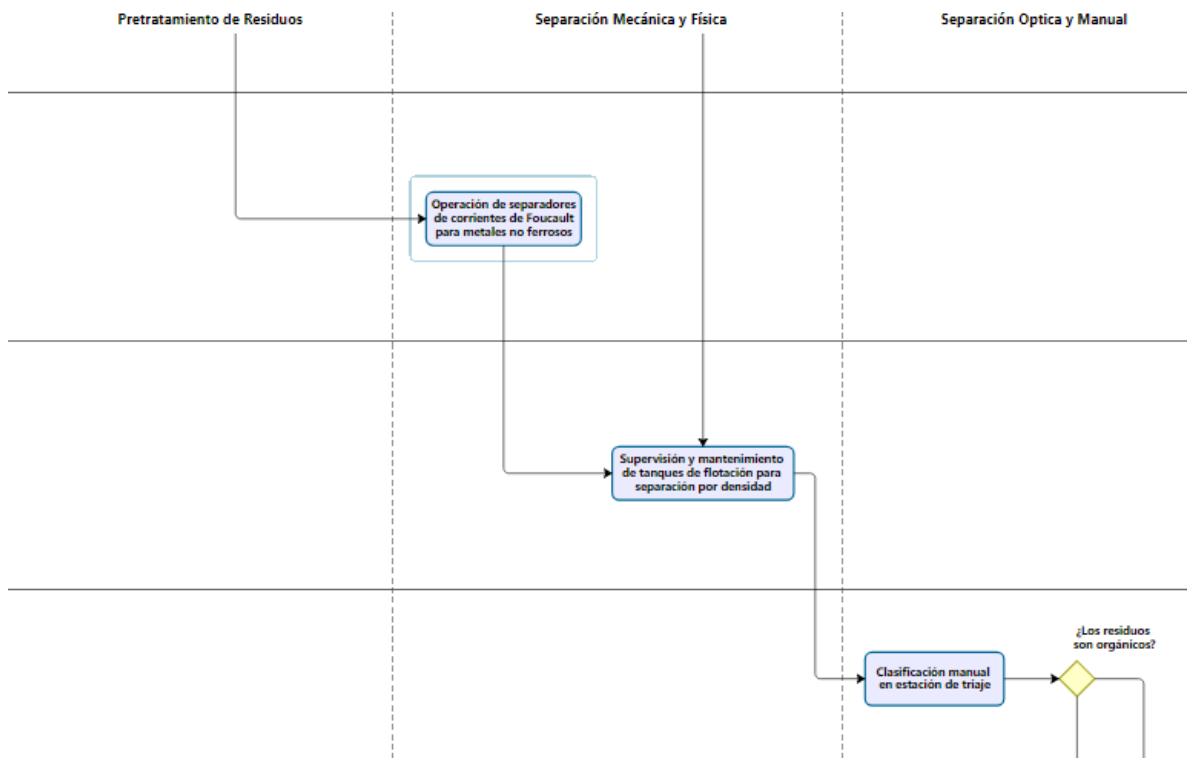


Ilustración 16. "Tercera Parte del Modelo BPMN del Área de Separación del Rediseño del Proceso Actual de Gestión de Residuos Domiciliarios". Fuente: Elaboración propia.

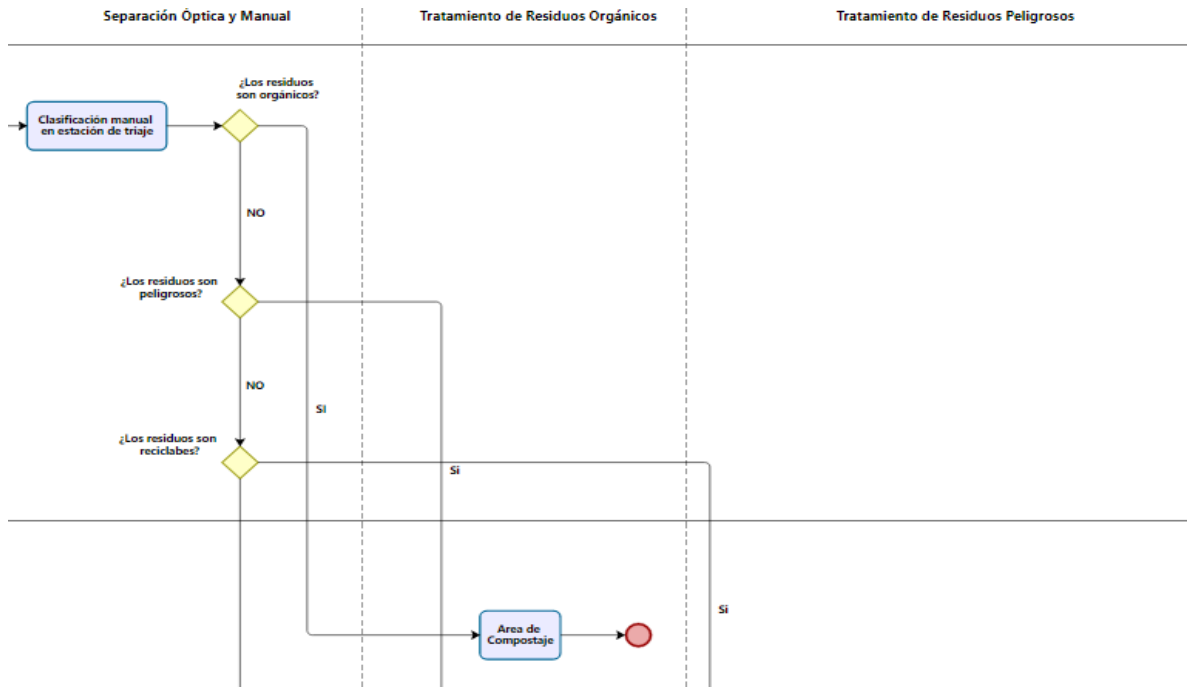


Ilustración 17. “Cuarta Parte del Modelo BPMN del Área de Separación del Rediseño del Proceso Actual de Gestión de Residuos Domiciliarios”. Fuente: Elaboración propia.

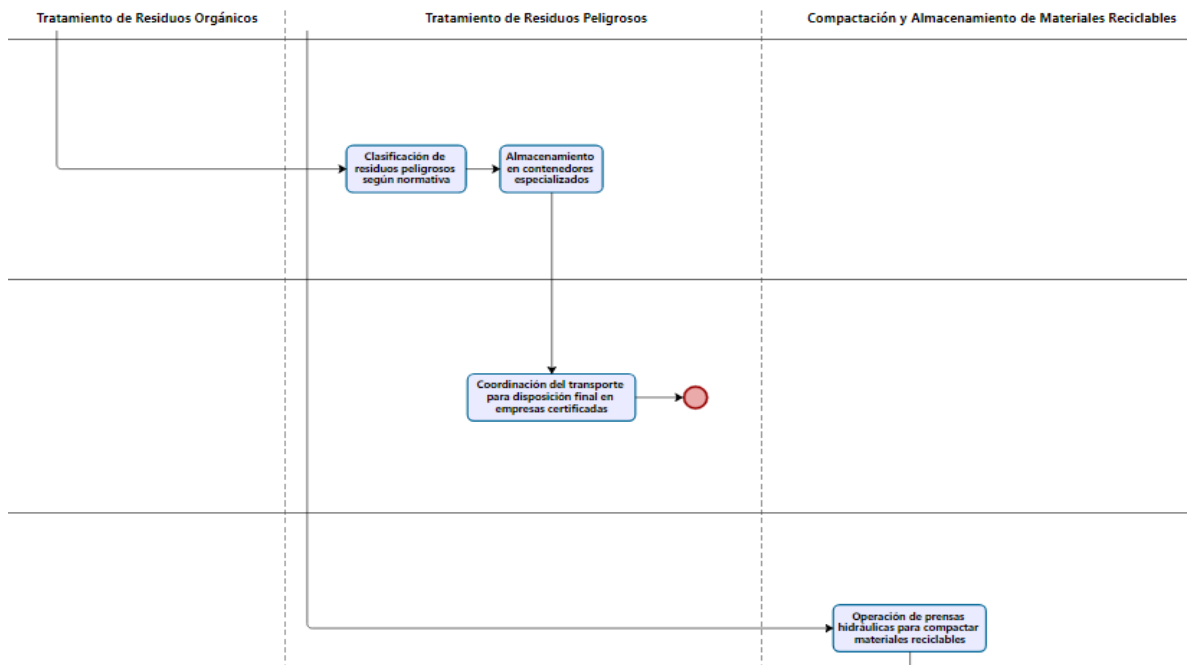


Ilustración 18. “Quinta Parte del Modelo BPMN del Área de Separación del Rediseño del Proceso Actual de Gestión de Residuos Domiciliarios”. Fuente: Elaboración propia.

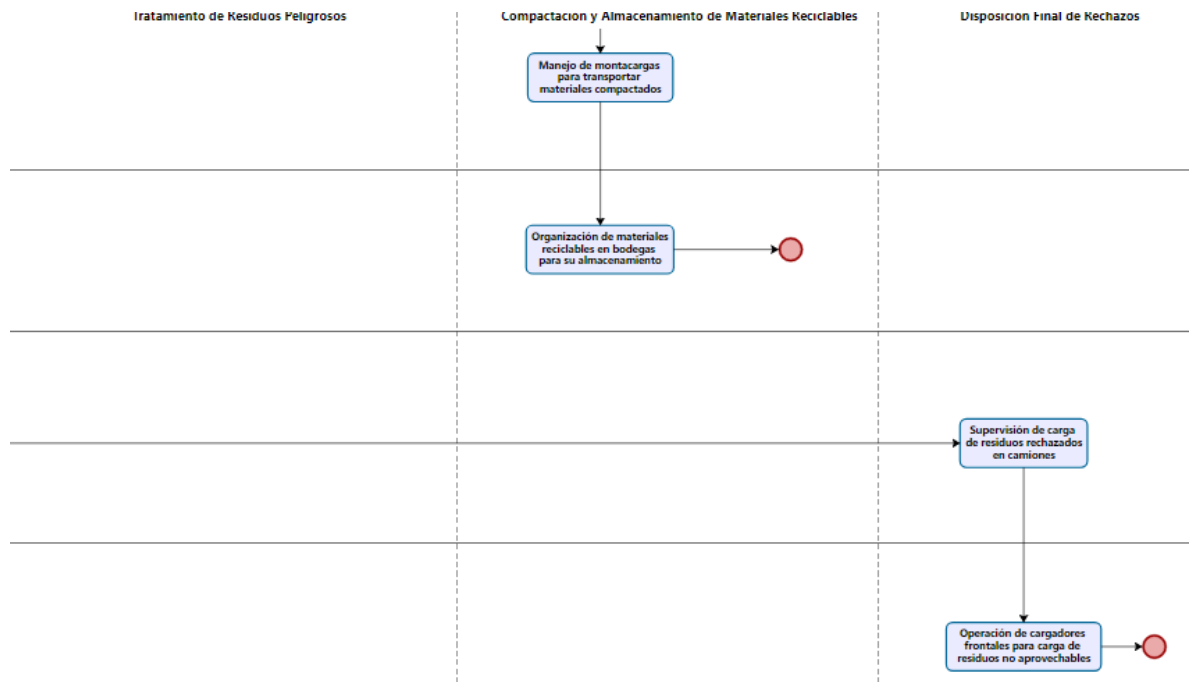


Ilustración 19. “Sexta Parte del Modelo BPMN del Área de Separación del Rediseño del Proceso Actual de Gestión de Residuos Domiciliarios”. Fuente: Elaboración propia.

5.4. Diseño del Área de Compostaje del Proceso

Como se mencionó anteriormente, en Chile, aproximadamente el 58% de los residuos sólidos generados en los hogares corresponde a materia orgánica. En el caso específico de la comuna de Lampa, donde se producen en promedio 4.500.000 kilogramos de residuos domiciliarios al mes, se estima que 2.610.000 kilogramos corresponden a materia orgánica que requiere un manejo específico para minimizar su impacto.

Con el propósito de gestionar eficientemente este volumen de residuos orgánicos, se seleccionó la técnica de compostaje por pila.

5.4.1. Compostaje por Pila

El compostaje por pila es una técnica ampliamente utilizada para el manejo de residuos orgánicos, caracterizada por la disposición de estos en montones o pilas que son gestionadas mediante procesos aeróbicos controlados. Este proceso comienza con la formación de montones de residuos biodegradables, los cuales suelen tener una altura de 1,5 a 2 metros para maximizar la aireación. Durante el proceso, microorganismos aeróbicos metabolizan la materia orgánica en presencia de oxígeno, liberando calor, dióxido de carbono

y agua. Este proceso genera temperaturas que oscilan entre los 50 °C y 70 °C, niveles adecuados para la eliminación de patógenos y semillas de malezas, asegurando la calidad del producto final. Para que el compostaje sea eficiente, es esencial controlar ciertos parámetros: la temperatura, la humedad, y la relación carbono-nitrógeno (C/N). En este tipo de compostaje, la humedad debe mantenerse entre el 40 % y 60 %, mientras que la relación C/N óptima es de 25-30:1 [34].

El volteo periódico de las pilas es una actividad fundamental para asegurar una adecuada aireación, evitar zonas anaeróbicas y redistribuir nutrientes y humedad en el material. Este volteo se realiza generalmente con volteadoras mecánicas, que reducen el tiempo de compostaje y optimizan la uniformidad del proceso. Equipos como los modelos SCARAB Freedom 4 son ideales para manejar grandes volúmenes de residuos orgánicos de manera eficiente. El tiempo total de compostaje puede variar entre 8 y 12 semanas, dependiendo de las condiciones ambientales y la composición de los residuos. Al final del proceso, el compost presenta una textura homogénea, ausencia de olores desagradables y una relación C/N estabilizada, lo que lo convierte en un fertilizante orgánico de alta calidad.



Ilustración 20. "SCARAB Freedom 4". Fuente:

<https://maquinac.com/2021/07/ecomanager-suma-la-volteadora-compost-turner/>

La implementación de esta técnica ofrece múltiples beneficios ambientales y económicos. Al desviar grandes cantidades de residuos orgánicos de los rellenos sanitarios, se disminuye la generación de lixiviados y las emisiones de gases de efecto invernadero como el metano. Asimismo, el abono producido puede ser utilizado en la agricultura o para el mejoramiento de suelos, contribuyendo a los objetivos de sostenibilidad y economía circular. Este sistema, además, es adaptable a diferentes escalas, lo que permite su implementación tanto en comunidades pequeñas como en grandes zonas urbanas, optimizando los recursos disponibles y alineándose con las políticas de gestión de residuos.

En el contexto actual, la implementación del compostaje por pila se consolida como una solución eficaz para transformar los residuos orgánicos en un recurso útil, reduciendo el impacto ambiental asociado a su disposición final.

A continuación, se presenta el proceso completo del Área de Compostaje, diseñado para gestionar de manera eficiente los residuos orgánicos, permitiendo transformar los residuos biodegradables en abono de alta calidad, asegurando el cumplimiento de criterios técnicos y ambientales, así como la optimización de los recursos disponibles. Cada etapa del proceso se describe a continuación con sus respectivas actividades, requerimientos operativos y equipos necesarios.

5.4.2. Recepción y Preparación de Residuos Orgánicos

En esta etapa inicial, los residuos orgánicos serán recibidos y pesados utilizando la báscula industrial mencionada en el proceso anterior, marca OHAUS, modelo Defender 5000, para registrar con precisión la cantidad de material procesado. Posteriormente, se realiza una inspección visual para identificar y retirar manualmente materiales no biodegradables, asegurando que únicamente los residuos adecuados sean introducidos en el proceso de compostaje.

Estas actividades requerirán la participación de dos operarios: uno encargado de operar la báscula y registrar los datos, y otro responsable de inspeccionar y retirar los elementos no biodegradables.

Además, se empleará el cargador frontal ya descrito en el proceso anterior, marca SDLG, modelo L938F, para facilitar el manejo y traslado de los materiales

5.4.3. Formación de Pilas

En esta etapa, los residuos preparados serán trasladados al área de compostaje, donde se dispondrán en pilas trapezoidales con una altura aproximada de 2 metros. El proceso considerará tanto la conformación de las pilas como la supervisión de su correcta disposición, con el objetivo de asegurar el cumplimiento de las especificaciones técnicas establecidas. Estas labores serán ejecutadas por dos operarios: uno encargado del traslado y apilamiento del material mediante el uso de un cargador frontal, y otro responsable de verificar que la formación de las pilas se ajuste a los parámetros definidos para un compostaje eficiente.

En cuanto a la maquinaria, se utilizará nuevamente el cargador frontal marca SDLG, modelo L938F.

5.4.4. Monitoreo y Control de Condiciones

En esta etapa, se llevará a cabo el monitoreo constante de parámetros fundamentales como la temperatura y la humedad, con el fin de mantener condiciones óptimas para la actividad microbiana durante el proceso de compostaje. Estas mediciones permitirán controlar el ambiente de las pilas y asegurar una descomposición eficiente del material orgánico. El registro de los datos obtenidos se realizará manualmente en un sistema de control, permitiendo llevar un seguimiento detallado del comportamiento del proceso. Estas tareas estarán a cargo de un operario asignado exclusivamente al monitoreo, quien será responsable de verificar que las mediciones y registros se ejecuten de forma precisa y consistente.

Para realizar estas mediciones, se utilizarán tres termómetros manuales para compostaje, marca Compost Systems, modelo Termómetro de Compost, que permiten obtener datos fiables y de fácil lectura.



Ilustración 21. “Termómetro para Compostaje Compost Systems”. Fuente: <https://www.compost-systems.com/es>

5.4.5. Volteo y Aireación

Durante esta etapa, se realizará el volteo manual de las pilas de compost con el propósito de redistribuir el oxígeno y la humedad, manteniendo así condiciones aeróbicas adecuadas en todo el material. Esta acción resulta fundamental para prevenir la formación de zonas anaeróbicas, las cuales podrían ralentizar el proceso de descomposición y afectar negativamente la calidad del compost final. Además, se aprovechará esta instancia para corregir posibles irregularidades en la estructura de las pilas, garantizando su estabilidad y homogeneidad. Estas labores serán ejecutadas por dos operarios utilizando herramientas manuales.

5.4.6. Mantenimiento de Pilas

En esta fase, se efectuarán ajustes en las pilas de compost con el objetivo de asegurar su correcto funcionamiento y estabilidad durante el proceso de descomposición. Las acciones contempladas incluyen la nivelación del material y la corrección de deformaciones estructurales, tales como colapsos o acumulaciones localizadas de humedad, que podrían comprometer la eficiencia del compostaje. Además, se procederá a la remoción manual de elementos no biodegradables que hayan sido detectados durante las inspecciones previas.

Estas labores estarán a cargo de los mismos operarios responsables del volteo, quienes, además de redistribuir el material, asumirán las tareas de mantenimiento, lo que permite optimizar el uso de recursos humanos aprovechando su experiencia en el manejo operativo del proceso.

5.4.7. Maduración y Cosecha del Compost

En esta etapa, se supervisará el proceso de maduración del compost con el fin de asegurar que el material alcance las condiciones óptimas para su uso final. Este control permitirá verificar que el compost sea homogéneo, libre de olores desagradables y con una textura adecuada para su aplicación como abono. Una vez cumplidos estos criterios, el material será sometido a un tamizado, cuyo objetivo es separar las partículas que no hayan completado su descomposición. Posteriormente, el compost tamizado será trasladado al área de almacenamiento, donde quedará disponible para su distribución o utilización. Estas labores estarán a cargo de un operario responsable de la supervisión y el tamizado, en conjunto con otro operario encargado del transporte del material.

Para el tamizado, se utilizará un tamiz rotativo básico, marca Tuffman, modelo Trommel 722. El transporte del compost hacia el área de almacenamiento se realiza con el cargador frontal reutilizado de la etapa inicial, marca SDLG, modelo L938F.

5.4.8. Control de Calidad y Embalaje

Una vez finalizado el proceso de compostaje, el material será sometido a una inspección visual con el propósito de verificar su calidad, evaluando características como textura, color y olor, a fin de asegurar que cumpla con los estándares establecidos antes de su distribución. Posteriormente, se procederá al embalaje manual del compost en sacos estándar, los cuales serán pesados individualmente para garantizar una distribución uniforme. Para esta tarea se reutilizará la báscula portátil marca OHAUS, modelo Scout, previamente empleada en otras etapas del proceso. Un operario será responsable de supervisar la calidad del compost, realizar el embalaje y registrar el peso de cada unidad, asegurando su correcta identificación y trazabilidad. Finalmente, los sacos serán almacenados y destinados a su utilización en plazas, parques, jardines comunitarios y otros espacios verdes de la comuna de Lampa.

5.4.9. Modelo BPMN del Área de Compostaje

A continuación, se presenta el modelo BPMN correspondiente al área de compostaje dentro del proceso de gestión de residuos sólidos domiciliarios. Este modelo detalla de manera estructurada las tareas y actividades necesarias para la transformación eficiente de los residuos orgánicos en compost, incluyendo las etapas de recepción, manejo, procesamiento y almacenamiento final. Cada actividad está descrita con precisión, especificando los roles operativos y los recursos necesarios para garantizar un desarrollo óptimo del proceso y alinearse con los objetivos de sostenibilidad y eficiencia del proyecto.

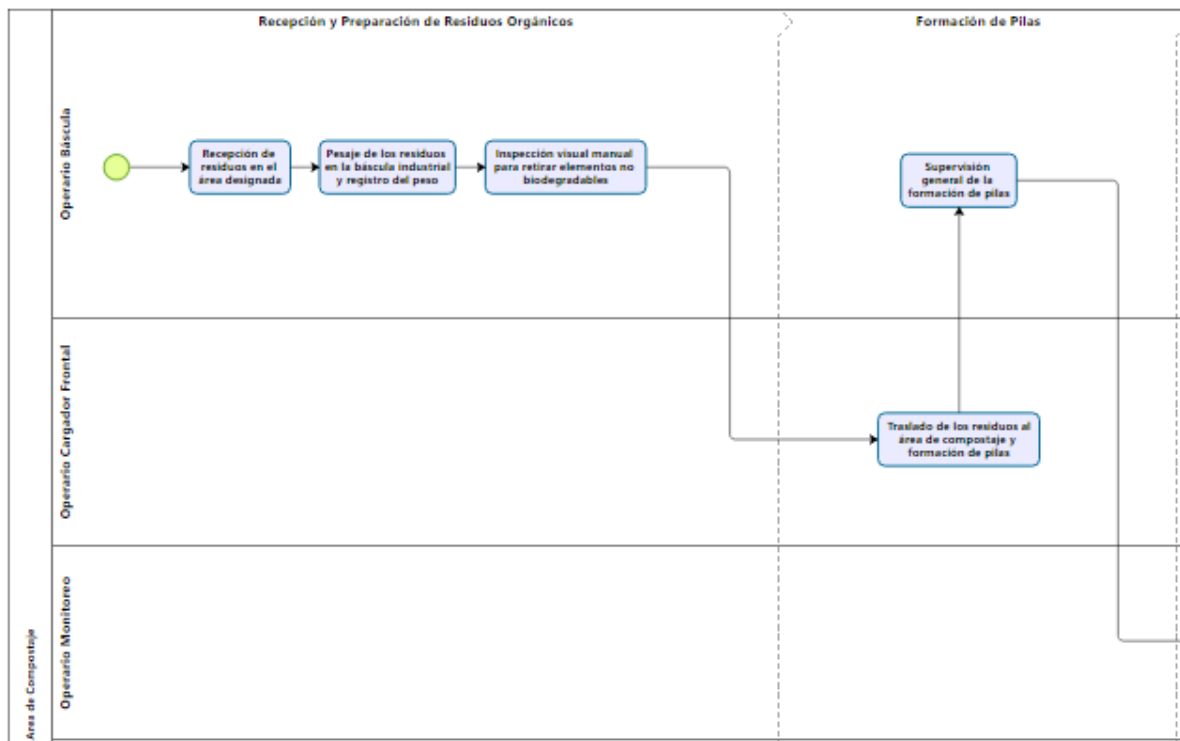


Ilustración 22. "Primera Parte del Modelo BPMN del Área de Compostaje del Rediseño del Proceso Actual de Gestión de Residuos Domiciliarios". Fuente: Elaboración propia.

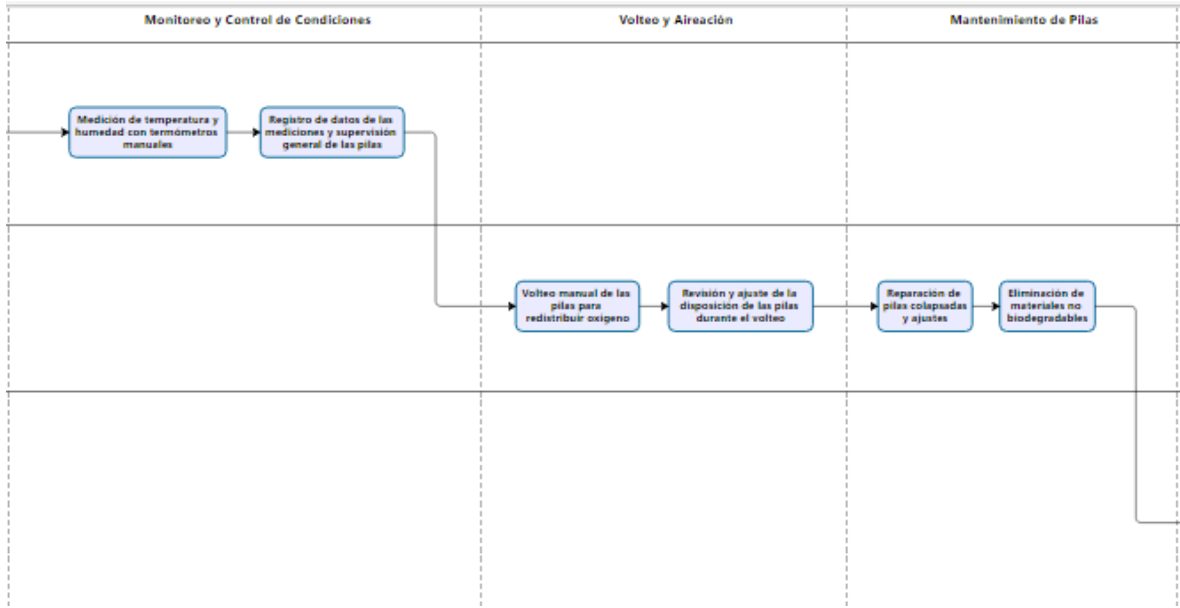


Ilustración 23. “Segunda Parte del Modelo BPMN del Área de Compostaje del Rediseño del Proceso Actual de Gestión de Residuos Domiciliarios”. Fuente: Elaboración propia.

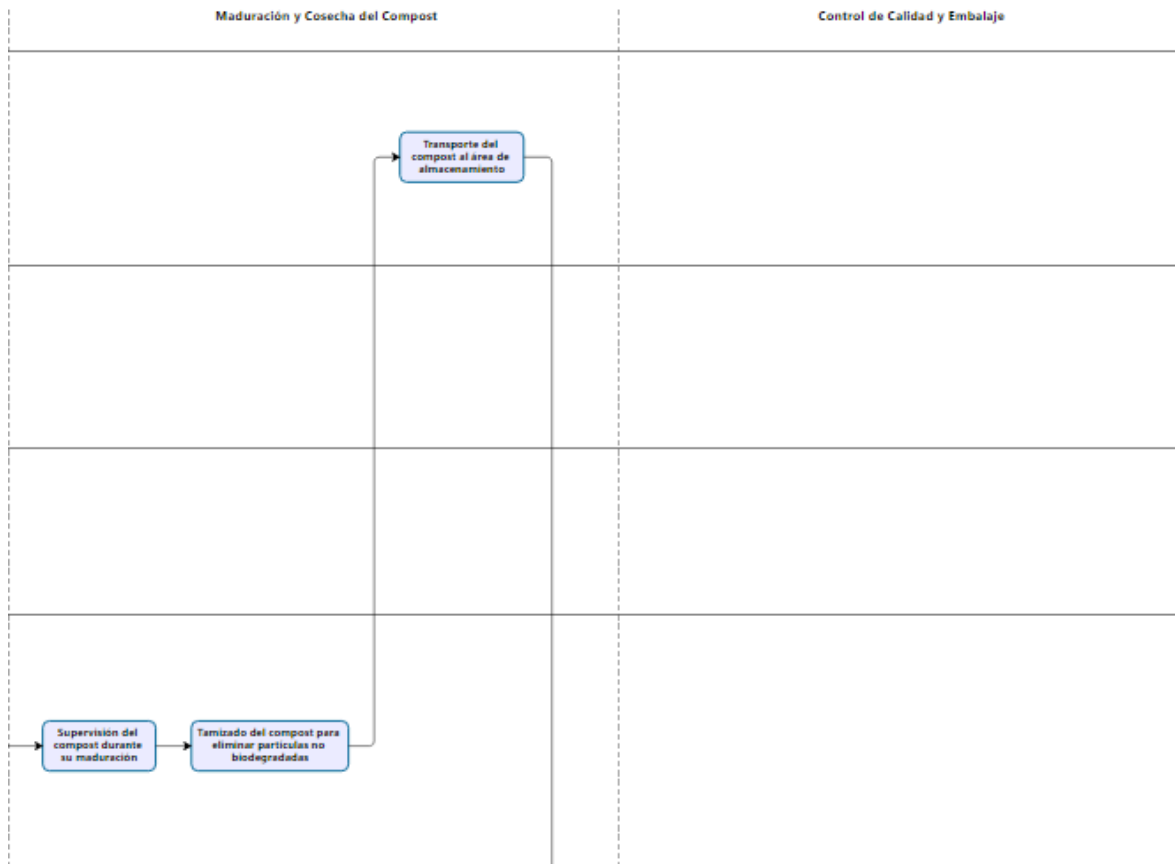


Ilustración 24. “Tercera Parte del Modelo BPMN del Área de Compostaje del Rediseño del Proceso Actual de Gestión de Residuos Domiciliarios”. Fuente: Elaboración propia.

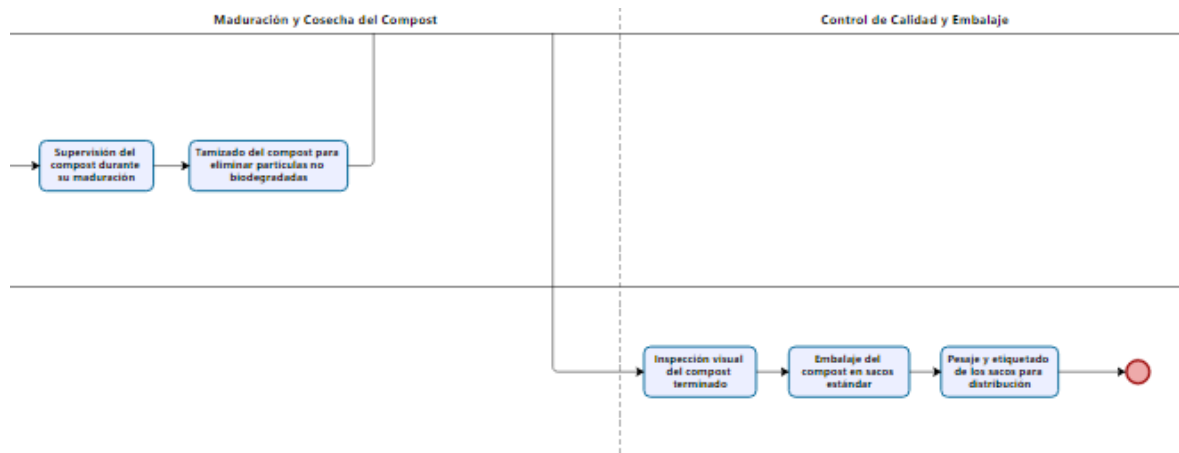


Ilustración 25. “Cuarta Parte del Modelo BPMN del Área de Compostaje del Rediseño del Proceso Actual de Gestión de Residuos Domiciliarios”. Fuente: Elaboración propia.

5.5. Análisis de Factibilidad Económica, Social y Ambiental del Rediseño del Proceso de Gestión de Residuos

5.5.1. Análisis Económico

Para evaluar la viabilidad económica del proyecto, es fundamental considerar los ingresos generados a través de la comercialización de residuos valorizables. Sin embargo, es importante destacar que, de acuerdo con los análisis realizados, sólo aproximadamente el 60% de los residuos inorgánicos generados en la comuna son reciclables. Esto equivale a un total aproximado de 1.183.272 kg mensuales de residuos valorizables, los cuales se clasifican en diferentes categorías según su composición y valor comercial.

Las proporciones utilizadas para estimar esta clasificación se fundamentan en el Estudio de Caracterización de Residuos Sólidos Domiciliarios en la Región Metropolitana, elaborado por la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso para la CONAMA RM (2006). Este estudio, ampliamente utilizado como referencia técnica en la planificación de sistemas de gestión de residuos urbanos, proporciona un desglose representativo de la composición de residuos en comunas con características similares a Lampa [35].

A partir de dicho estudio, y ajustando las proporciones al 40% correspondiente a la fracción inorgánica, se obtuvieron los siguientes valores:

Material	Proporción %
Plástico	25%
Cartón y Papel	24%
Metal	5%
Vidrio	7%
Otros residuos	38%

*Tabla 3. Proporción de Residuos Valorizables". Fuente:
https://metadatos.mma.gob.cl/sinia/articles-39508_pdf_informeF.pdf*

Para asegurar un flujo constante de ingresos a partir de los residuos valorizables generados en la comuna de Lampa, se han establecido acuerdos comerciales con diversas empresas ya mencionadas anteriormente, las cuales son especializadas en la compra y procesamiento de estos materiales. Estos acuerdos permiten optimizar el retorno financiero del proyecto, considerando tanto la calidad del material como los volúmenes generados mensualmente. A continuación, se detallan los convenios establecidos:

1. Plástico:

El plástico generado, que incluye PET, PEAD y otros polímeros reciclables, será vendido a Cruplas Chile, una de las principales recicladoras de plásticos en el país. El precio acordado es de \$140 CLP/kg.

2. Papel y Cartón:

Para el papel y cartón recuperado, se estableció un acuerdo con SOREPA (Sociedad Recuperadora de Papeles), la principal recicladora de papel y cartón en Chile. El precio de venta es de \$190 CLP/kg.

3. Metal:

Los residuos metálicos, incluyendo aluminio y otros metales ferrosos, serán comercializados con Aceros AZA, líder en el reciclaje de chatarra ferrosa en Chile. El precio acordado es de \$400 CLP/kg.

4. Vidrio:

El vidrio generado será enviado a Cristalerías Chile, uno de los mayores recicladores de vidrio en el país. El precio acordado es de \$10 CLP/kg.

5. Otros Residuos:

Finalmente, otros tipos de residuos, serán gestionados por Hope Reciclaje, una

empresa especializada en materiales difíciles de reciclar, como Tetra Pak. El precio por kilogramo es de \$20 CLP/kg.

A continuación, se presenta un desglose detallado de los ingresos proyectados para cada tipo de residuo, considerando las proporciones y los precios establecidos por medio de los acuerdos mencionados.

Material	Proporción %	Kg generados mensual	Pago por kg (CLP)	Ingreso mensual (CLP)
Plástico	25%	301498	140	\$ 42.209.679
Cartón y Papel	24%	286233	190	\$ 54.384.364
Metal	5%	55969	400	\$ 22.387.506
Vidrio	7%	88509	10	\$ 885.087
Otros residuos	38%	451063	20	\$ 9.021.266
Total				\$ 128.887.903

Tabla 4. "Proyección de Ingresos Generados por Venta de Residuos Valorizables". Fuente: Elaboración propia.

Al analizar los datos de la tabla, se puede observar que los ingresos mensuales proyectados por la venta de residuos valorizables en la comuna de Lampa ascienden a \$128.887.903 CLP.

El cartón y papel es, con diferencia, el residuo con mayor impacto económico, generando ingresos mensuales de \$54.384.364, a pesar de representar solo el 24% del total de residuos valorizables. Esto se debe a su elevado valor por kilogramo, lo que lo convierte en uno de los materiales más rentables del grupo.

En contraste, aunque el plástico representa el mayor porcentaje de residuos generados (25%), su ingreso mensual es significativamente menor, alcanzando \$42.209.679, debido a un valor por kilogramo relativamente más bajo.

El metal, que constituye el 5% del total, genera ingresos de \$22.387.506 mensuales, gracias a su alto precio unitario, a pesar de su participación reducida en el total.

El vidrio, con una participación del 7% en el total de residuos valorizables, es el material con el ingreso más bajo, generando solo \$885.087 mensuales, reflejando tanto su bajo precio de mercado como las limitaciones logísticas que dificultan su reciclaje.

Finalmente, los "otros residuos" comprenden un 38% del total y generan ingresos mensuales de \$9.021.266, con un precio promedio de \$20 por kilogramo.

5.5.1.1. Análisis de Costo–Beneficio (ACB)

Con los ingresos mensuales previamente detallados, es posible llevar a cabo un análisis costo-beneficio para evaluar la factibilidad económica del proyecto. Este análisis considerará los siguientes aspectos:

1. **Costos de inversión inicial (CAPEX)**, asociados a la compra de maquinaria, construcción de infraestructura, instalación de equipos y capacitación del personal.
2. **Costos operacionales anuales (OPEX)**, incluyendo sueldos, mantención, servicios e insumos asociados a la operación del sistema.
3. **Beneficios monetarios**, representados principalmente por los ingresos proyectados por la valorización de residuos reciclables (plástico, papel, cartón, metales, vidrio y otros).
4. **Comparación directa con el modelo actual**, para visualizar el diferencial financiero y justificar el cambio de enfoque.

5.5.1.2. Análisis de los Costos de Inversión (CAPEX)

A continuación, se presenta un desglose de los costos iniciales de implementación del modelo propuesto. Estos valores incluyen los elementos fundamentales para poner en funcionamiento la planta de separación y el sistema de compostaje, así como los vehículos y recursos humanos necesarios.

Asimismo, además de los costos de inversión en maquinaria y equipos considerados como parte del capital inicial, el proyecto contempla otros componentes esenciales para su correcta implementación. Estos incluyen la construcción de la planta de tratamiento y separación, la instalación y habilitación de los equipos adquiridos, así como la capacitación del personal encargado de operar el nuevo sistema.

Item	Modelo	Marca	Cantidad	Valor Unitario (CLP)	Valor Total (CLP)
Báscula Industrial	Defender 5000	OHAUS	3	\$ 2.700.000	\$ 8.100.000
Cargador Frontal	L938F	SDLG	4	\$ 71.500.000	\$ 286.000.000
Desgarradora	TB 300	Forrec	2	\$ 72.000.000	\$ 144.000.000
Criba Rotativa	Trommel 722	Tuffman	6	\$ 4.500.000	\$ 27.000.000
Separador Magnético	Manual Suspended Magnet	Eriez	1	\$ 134.000.000	\$ 134.000.000
Separador de Corrientes de Foucault	CanMaster	Steinert	2	\$ 112.000.000	\$ 224.000.000
Tanque de Flotación	Basic Separator	Herbold Meckesheim	2	\$ 87.000.000	\$ 174.000.000
Mesa de Clasificación Manual	PS122	Kiverco	4	\$ 18.000.000	\$ 72.000.000
Contenedor para Residuos Peligrosos	SimpleBox	DENIOS	2	\$ 12.000.000	\$ 24.000.000
Prensa Hidráulica Compactadora	B50	Bramidan	1	\$ 93.000.000	\$ 93.000.000
Montacarga	8FGCU25	Toyota	2	\$ 18.000.000	\$ 36.000.000
Camión	NPR71L-HJ5VAYN	Isuzu	6	\$ 46.500.000	\$ 279.000.000
Báscula portátil (Scout)	Scout	OHAUS	1	\$ 950.000	\$ 950.000
Total			36	\$ 672.150.000	\$ 1.502.050.000

Tabla 5. "Costos Asociados a Maquinaria Necesaria". Fuente: Elaboración propia.

En cuanto a la inversión en maquinaria y equipos necesarios para implementar el modelo, esta inversión asciende a \$1.502.050.000, lo que representa aproximadamente el 85% del gasto inicial del proyecto, destacándose como el principal componente del presupuesto inicial.

Esta inversión incluye una amplia variedad de tecnologías diseñadas para cubrir todas las etapas del proceso, desde el pesaje y transporte hasta la separación automatizada, compostaje y control de calidad. Esto garantiza una operación integral y autónoma, reduciendo la dependencia de soluciones externas y mejorando la eficiencia del sistema.

Asimismo, hay otros costos asociados a la inversión inicial que complementan la adquisición de maquinaria y resultan fundamentales para la puesta en marcha del sistema. Estos costos incluyen la construcción de la planta de tratamiento, la instalación de los equipos y la capacitación del personal encargado de operar la infraestructura. La siguiente tabla presenta el desglose completo de estos componentes:

Concepto	Valor Total (CLP)
Costo de Construcción de la Planta	\$ 165.000.000
Costo de Compra de Maquinaria y Equipos	\$ 1.502.050.000
Costo de Instalación de Equipos	\$ 92.961.000
Costo de Capacitación de Personal	\$ 7.000.000
Total	\$ 1.767.011.000

Tabla 6. "Costos Asociados a Inversión Inicial". Fuente: Elaboración propia.

5.5.1.3. Costos Operacionales (OPEX)

Los costos operativos del nuevo modelo comprenden una serie de elementos fundamentales para el funcionamiento continuo y eficiente del sistema. Estos abarcan desde el consumo de servicios básicos (como electricidad), el suministro de insumos, el mantenimiento periódico de la maquinaria, el transporte de los residuos valorizables, hasta la remuneración del personal encargado de operar y supervisar las distintas etapas del proceso.

Cada uno de estos componentes representa una parte esencial del sistema, ya que garantizan su operatividad técnica y su sostenibilidad en el tiempo.

Cargo	Cantidad	Remuneración Mensual por Trabajador (CLP)	Remuneración Mensual Total (CLP)	Remuneración Anual (CLP)
Operario Báscula	2	\$ 500.000	\$ 1.000.000	\$ 12.000.000
Operario de Inspección	2	\$ 480.000	\$ 960.000	\$ 11.520.000
Operario de Supervisión	4	\$ 480.000	\$ 1.920.000	\$ 23.040.000
Operario de Retiro Manual	5	\$ 480.000	\$ 2.400.000	\$ 28.800.000
Operario de Separadores	5	\$ 480.000	\$ 2.400.000	\$ 28.800.000
Operario Clasificación Manual	4	\$ 480.000	\$ 1.920.000	\$ 23.040.000
Supervisor Área de Separación	1	\$ 600.000	\$ 600.000	\$ 7.200.000
Operario Báscula 1 y 2	2	\$ 500.000	\$ 1.000.000	\$ 12.000.000
Operario Cargador Frontal	2	\$ 550.000	\$ 1.100.000	\$ 13.200.000
Operario Monitoreo 1	1	\$ 480.000	\$ 480.000	\$ 5.760.000
Operarios Volteo 1 y 2	2	\$ 480.000	\$ 960.000	\$ 11.520.000
Operario Supervisión Compost	1	\$ 600.000	\$ 600.000	\$ 7.200.000
Operario Embalaje	1	\$ 480.000	\$ 480.000	\$ 5.760.000
Supervisor Área Compostaje	1	\$ 800.000	\$ 800.000	\$ 9.600.000
Conductor Camión	2	\$ 850.000	\$ 1.700.000	\$ 20.400.000
Operarios Carga Camión	12	\$ 550.000	\$ 6.600.000	\$ 79.200.000
Total	47	\$ 8.790.000	\$ 24.920.000	\$ 299.040.000

Tabla 7. "Costos Asociados al Personal Necesario". Fuente: Elaboración propia.

Los costos asociados al personal ascienden a \$299.040.000. Este gasto incluye desde operarios de báscula y cargadores frontales hasta supervisores de compostaje y operarios de embalaje. La estructura de personal está diseñada para asegurar una operación continua y eficiente, con roles especializados que garantizan el correcto funcionamiento de cada etapa del proceso, desde la recepción hasta el compostaje final.

Además, es fundamental considerar que los residuos no valorizables, al no poder ser reincorporados a procesos de recuperación, deben ser transportados y gestionados por entidades autorizadas que cuenten con la capacidad técnica y operativa para garantizar su correcta disposición final. Para ello, se estableció un convenio con la empresa KDM, encargada de la operación del Relleno Sanitario ubicado en la comuna de Tiltit, el cual se rige bajo los siguientes valores establecidos contractualmente:

Kilogramos de Residuos no Valorizados	Pago por Transporte por Kilogramo	Pago por Disposición por Kilogramo	Valor Total (CLP)
788848	\$	13 \$	5 \$ 14.199.264

Tabla 8. "Costos Asociados al Transporte de Residuos no Valorizables". Fuente: Elaboración propia.

Concepto	Valor Mensual (CLP)	Valor Anual (CLP)
Servicios Eléctricos	\$ 36.183.000	\$ 434.196.000
Insumos	\$ 12.000.000	\$ 144.000.000
Mantenimiento de Maquinaria	\$ 8.422.755	\$ 101.073.060
Recolección de Residuos (Combustible)	\$ 13.044.300	\$ 156.531.600
Transporte de Residuos	\$ 14.199.264	\$ 170.391.168
Salarios	\$ 24.920.000	\$ 299.040.000
Total	\$ 108.769.319	\$ 1.305.231.828

Tabla 9. "Costos Asociados a la Operatividad de la Planta". Fuente: Elaboración propia.

Los costos operativos anuales alcanzan 1.305.231.828, siendo los servicios eléctricos y los salarios las partidas más significativas, representando aproximadamente el 57% del total.

5.5.1.4. Flujo de Caja Proyectado

Como tercer eje del análisis, se elaboró un flujo de caja proyectado a 10 años, el cual considera tanto la inversión inicial como los ingresos y costos operacionales anuales asociados al nuevo modelo de gestión interna de residuos. Esta herramienta permite visualizar el comportamiento financiero del proyecto en el tiempo y estimar su rentabilidad bajo condiciones realistas.

En el año 0 se contempla la inversión inicial total requerida para la puesta en marcha del sistema, mientras que desde el año 1 en adelante se proyectan los ingresos derivados de la venta de materiales valorizables, así como los costos operacionales asociados al funcionamiento del sistema.

Tanto los ingresos como los costos fueron proyectados con tasas de crecimiento anuales del 3% y 2,5% respectivamente, con el objetivo de reflejar el aumento progresivo en la valorización de residuos y el reajuste natural de costos por inflación, manteniendo una proyección prudente y defendible en el tiempo. A partir de estos valores se calculó el flujo neto anual, base fundamental para el análisis de rentabilidad.

Año	Inversión Inicial	Ingresos Anuales	Costos Anuales	Flujo Neto
0	\$ 1.767.011.000	\$ -	\$ -	\$ -1.767.011.000
1	\$ -	\$ 1.689.655.619	\$ 1.305.231.828	\$ 384.423.791
2	\$ -	\$ 1.740.345.288	\$ 1.337.862.624	\$ 402.482.664
3	\$ -	\$ 1.792.555.646	\$ 1.371.309.189	\$ 421.246.457
4	\$ -	\$ 1.846.332.316	\$ 1.405.591.919	\$ 440.740.396
5	\$ -	\$ 1.901.722.285	\$ 1.440.731.717	\$ 460.990.568
6	\$ -	\$ 1.958.773.954	\$ 1.476.750.010	\$ 482.023.944
7	\$ -	\$ 2.017.537.172	\$ 1.513.668.760	\$ 503.868.412
8	\$ -	\$ 2.078.063.287	\$ 1.551.510.479	\$ 526.552.808
9	\$ -	\$ 2.140.405.186	\$ 1.590.298.241	\$ 550.106.945
10	\$ -	\$ 2.204.617.342	\$ 1.630.055.697	\$ 574.561.644

Tabla 10. "Flujo de Caja Proyectado a 10 años". Fuente: Elaboración propia.

A partir del primer año, se observa un flujo neto positivo sostenido, con ingresos anuales que superan consistentemente los costos operativos. En el primer año, se proyectan ingresos de \$1.689.655.619 CLP y costos por \$1.305.231.828 CLP, generando un flujo neto positivo de \$384.423.791 CLP. Este margen continúa incrementándose año a año, alcanzando los \$574.561.644 CLP en el décimo año, lo que refleja una tendencia de crecimiento constante y saludable en los ingresos netos del proyecto.

Por otro lado, se calcularon los indicadores financieros TIR, VAN y ROI, utilizando una tasa de descuento del 10%, valor de referencia comúnmente utilizado en la evaluación de proyectos públicos municipales. Esta tasa permite incorporar tanto el riesgo como el costo de oportunidad del capital, asegurando que la rentabilidad proyectada del sistema sea evaluada con criterios conservadores y comparables con otras iniciativas del sector público.

Indicador	Valor
TIR	22%
VAN	\$1.049.966.985
ROI	269%

Tabla 11. "Indicadores Financieros del Proyecto". Fuente: Elaboración propia.

Al analizar los indicadores financieros obtenidos, se observa que la Tasa Interna de Retorno alcanza un 22%, lo que evidencia una rentabilidad satisfactoria en relación con la tasa de descuento del 10% aplicada al proyecto. Este resultado permite concluir que la iniciativa es financieramente viable, incluso frente a escenarios con eventuales fluctuaciones en los ingresos o aumentos en los costos operativos.

El Valor Actual Neto fue de \$1.049.966.985 CLP, lo que indica que el valor presente de los beneficios proyectados supera la inversión inicial y los costos asociados, generando un excedente económico neto favorable.

Finalmente, el Retorno sobre la Inversión alcanzó un 269%, lo que demuestra una eficiencia destacable en la utilización de los recursos disponibles, permitiendo no solo recuperar íntegramente la inversión, sino también obtener beneficios significativos que podrían destinarse al financiamiento de otras iniciativas municipales.

5.5.1.5. Payback Period

El Payback Period se calcula sumando los flujos netos generados año a año hasta que el valor acumulado iguala o supera la inversión inicial del proyecto. En este caso, la inversión inicial fue de \$1.767.011.000, ejecutada en el año 0. A partir del primer año, los ingresos netos comienzan a generar flujos positivos, que se acumulan hasta cubrir completamente el monto invertido.

Para calcular el Payback Period exacto, se utiliza la siguiente fórmula:

$$n + \left(\frac{I - F_{n-1}}{F_n} \right)$$

Fórmula 3. "Payback Period". Fuente: Elaboración propia.

Donde:

- n es el último año con flujo acumulado negativo (en este caso, el segundo año).
- I es la inversión inicial.
- F_{n-1} es el flujo acumulado al final del último año negativo.
- F_n es el flujo neto del año en que se recupera la inversión.

Aplicando la fórmula del Payback Period, se determinó que el proyecto recupera la inversión inicial de \$1.767.011.000 en un plazo de 4,26 años. Esto significa que, desde el cuarto año de operación, el sistema comienza a generar excedentes netos, consolidando su viabilidad económica en el mediano plazo.

5.5.1.6. Punto de Equilibrio Operacional

El Punto de Equilibrio Operacional es el volumen mínimo de residuos valorizables (en kilogramos) que deben ser recolectados, clasificados y vendidos anualmente para que los ingresos generados sean suficientes para cubrir la totalidad de los costos operativos del sistema, sin generar pérdidas ni excedentes. Este indicador es fundamental para determinar la viabilidad mínima del proyecto, ya que establece el umbral a partir del cual el sistema comienza a generar beneficios netos.

Para calcular este punto de equilibrio, se utilizó la siguiente fórmula:

$$\text{Punto de equilibrio (kg/año)} = \frac{\text{Costos operativos anuales}}{\text{Precio promedio por kg valorizable}}$$

Fórmula 4. "Punto de Equilibrio de la Planta". Fuente: Elaboración propia.

Donde:

- **Costos Operativos Anuales:** \$1.305.231.828 (correspondientes al primer año de operación).
- **Precio Promedio por kg Valorizable:** \$152 /kg (calculado a partir de los ingresos proyectados para cada tipo de residuo).

Aplicando los valores obtenidos en el análisis de costos e ingresos, se obtuvo un punto de equilibrio de aproximadamente 8.587.052 kilogramos por año. Este volumen equivale a cerca de 715 toneladas mensuales, una cantidad plenamente alcanzable si se considera que la comuna actualmente genera un volumen cercano a 798 toneladas mensuales de residuos inorgánicos.

5.5.1.7. Análisis Cualitativo y Comparativo de Beneficios del Modelo Actual vs. Modelo Propuesto

Para evaluar de manera integral las diferencias entre el modelo de gestión actual y el modelo propuesto, se desarrolló un análisis cualitativo de elaboración propia, que considera criterios técnicos, económicos, operativos y ambientales críticos para la sostenibilidad del sistema. Este enfoque permite identificar las ventajas y limitaciones de cada modelo, proporcionando una visión completa de sus capacidades para responder a las necesidades de gestión de residuos en la comuna de Lampa.

Criterio	Modelo Actual (Externo)	Modelo Propuesto (Interno)
Control Operativo	Bajo	Alto
Ingresos Directos	No	Sí
Flexibilidad Operativa	Baja	Alta
Impacto Ambiental	Alto	Bajo
Capacidad de Escalabilidad	Limitada	Alta
Requerimientos de Inversión Inicial	Bajo	Alto
Costos Operativos a Largo Plazo	Alto	Medio
Riesgo Financiero	Bajo	Alto
Autonomía en la Gestión	Baja	Alta
Impacto Económico Local	Bajo	Alto
Complejidad de la Cadena Logística	Baja	Alta
Dependencia Tecnológica	Baja	Alta
Riesgos Laborales	Alta	Media
Resiliencia ante Cambios Regulatorios	Media	Alta
Capacidad para Implementar Economía Circular	Baja	Alta
Eficiencia en la Valorización de Residuos	Media	Alta
Trazabilidad y Control de Calidad	Baja	Alta
Generación de Empleos Especializados	Media	Alta
Reducción de la Huella de Carbono	Alta	Baja
Capacidad para Innovación y Mejora Continua	Baja	Alta

Tabla 12. “Evaluación Comparativa de Criterios Estratégicos entre el Modelo de Gestión Externo y el Modelo Interno Propuesto”. Fuente: Elaboración propia.

La tabla comparativa presentada incluye 20 criterios clave que reflejan aspectos fundamentales para el desempeño de ambos modelos de gestión de residuos, considerando factores como control operativo, ingresos directos, capacidad de escalabilidad, sostenibilidad a largo plazo, reducción de riesgos laborales, eficiencia en la valorización de residuos, resiliencia ante cambios regulatorios y capacidad para implementar modelos de economía circular.

El análisis de estos criterios revela diferencias significativas entre ambos enfoques. El modelo propuesto se destaca en términos de autonomía, flexibilidad operativa y capacidad de escalabilidad, características que le permiten adaptarse mejor al crecimiento proyectado de residuos y a cambios en las regulaciones. Además, al generar ingresos directos para la comuna, fortalece su autonomía financiera y facilita la reinversión en proyectos locales, aunque esto requiere una inversión inicial significativa y conlleva mayores riesgos financieros.

En términos ambientales, el modelo propuesto también presenta ventajas claras, dado que prioriza la valorización de residuos y la reducción de desechos enviados a rellenos sanitarios, mejorando su desempeño en sostenibilidad y haciéndolo más compatible con prácticas de economía circular y reducción de la huella de carbono.

Sin embargo, este enfoque también introduce una mayor dependencia tecnológica y exige una gestión más compleja para mantener su eficiencia operativa. A pesar de estos desafíos, su capacidad para implementar mejoras continuas y ajustarse a nuevas demandas lo posiciona como una opción más estratégica y sostenible para la gestión de residuos a largo plazo, en comparación con el modelo externo actual.

5.5.2. Análisis Ambiental

Desde el punto de vista ambiental, la implementación del modelo propuesto no implica beneficios directos inmediatos para la población de Lampa en términos perceptibles, como mejoras en calidad del aire o reducción de emisiones locales. Sin embargo, sí representa avances relevantes en términos estructurales y operativos. En primer lugar, el mayor control del proceso permitiría mantener el centro de acopio en mejores condiciones, con una reducción sostenida en la acumulación de desechos sin clasificar, lo que contribuye a un entorno de trabajo más limpio y ordenado, y a una gestión más eficiente de los residuos.

A nivel externo, el principal impacto ambiental positivo corresponde a la disminución en la cantidad de residuos enviados a disposición final en el relleno sanitario de Tiltil. Al valorizar de manera más efectiva los residuos orgánicos e inorgánicos generados en la comuna, se reduce la presión sobre sitios de disposición final, se prolonga su vida útil y se contribuye a disminuir los impactos negativos asociados al transporte y acumulación de residuos a gran escala.

Finalmente, uno de los aspectos más relevantes es que este proyecto posicionaría a Lampa como la primera comuna en gestionar de forma integral el 100 % de los residuos domiciliarios que genera, desde su recolección hasta su tratamiento final. Esta condición pionera representa no solo un hito a nivel local, sino también una referencia replicable para otras comunas del país que busquen avanzar hacia modelos de economía circular y autosuficiencia operativa en la gestión de residuos.

5.5.3. Análisis Social

Uno de los beneficios sociales más relevantes del modelo propuesto será la posibilidad de reutilizar el compost generado en el proceso de valorización orgánica para el mejoramiento de áreas verdes y espacios comunes dentro de la comuna. Esta acción no solo permite dar un uso directo y tangible al material procesado, sino que también representa una forma de cerrar el ciclo de los residuos dentro del propio territorio. La aplicación del compost en plazas, parques y jardines comunitarios contribuirá a mantener estos espacios en mejores condiciones, reducir costos de mantenimiento y generar un entorno urbano más agradable para los vecinos, fortaleciendo la relación entre la comunidad y el espacio público.

Adicionalmente, el modelo contempla la generación de ingresos a partir de la valorización de residuos, los cuales podrán ser destinados a financiar iniciativas comunales con impacto social y ambiental. Esta capacidad de reinversión representa una oportunidad concreta para que el proyecto trascienda su propósito operativo y contribuya al desarrollo local. En esta línea, se han identificado como destinos prioritarios de dichos recursos el Humedal de Batuco y el Parque Comunal San Alberto Hurtado, considerados espacios estratégicos para la conservación ecológica y la recreación comunitaria, respectivamente.

5.5.3.1. Humedal de Batuco

El Humedal de Batuco es uno de los ecosistemas más importantes de la Región Metropolitana, reconocido por su alta biodiversidad y su rol crítico en la regulación hídrica. Este humedal alberga una gran variedad de especies de aves acuáticas, muchas de ellas en categorías de conservación, y presta servicios ecosistémicos esenciales como la mitigación de inundaciones, la recarga de acuíferos y la regulación del microclima local.

El proyecto contempla intervenciones destinadas a mejorar la calidad del agua y restaurar las zonas degradadas del humedal, incluyendo la recuperación de vegetación nativa y la eliminación de especies invasoras que puedan comprometer su equilibrio ecológico. Además, se planifican programas de monitoreo permanente de la calidad del agua y la biodiversidad, utilizando tecnologías avanzadas para medir parámetros críticos como la concentración de nutrientes, la calidad del hábitat y la salud de las poblaciones de aves residentes y migratorias.

Se considera también la creación de senderos interpretativos y áreas de observación para fomentar el ecoturismo y la educación ambiental, transformando al humedal en un espacio de aprendizaje y conexión con la naturaleza para las comunidades locales. Esto incluirá la instalación de señalética educativa, la construcción de miradores para la observación de aves y la implementación de plataformas flotantes para facilitar la investigación científica y la recreación controlada.

5.5.3.2. Parque Comunal San Alberto Hurtado

El Parque comunal San Alberto Hurtado es un espacio verde recuperado para el uso comunitario, que ofrece oportunidades únicas para promover la educación ambiental y el esparcimiento familiar. El proyecto incluye la mejora de su infraestructura verde a través de la plantación de árboles nativos, la creación de jardines de bajo consumo hídrico y la restauración de áreas degradadas para aumentar la biodiversidad local.

Se proyecta la implementación de sistemas de riego sostenibles, incluyendo sistemas de captación de aguas lluvias y tecnologías de riego eficiente para reducir el consumo de agua potable y optimizar el uso de recursos hídricos locales. Además, se crearán áreas de compostaje demostrativas para educar a la comunidad sobre la importancia del reciclaje de residuos orgánicos y la economía circular.

El parque también se convertirá en un espacio para la educación ambiental activa, con talleres permanentes sobre reciclaje, compostaje y manejo sostenible del territorio, así como la instalación de puntos limpios para fomentar la separación de residuos en origen. Estas actividades se complementarán con campañas de sensibilización y eventos comunitarios que refuercen la conexión entre los habitantes de Lampa y su entorno natural, promoviendo una cultura de sostenibilidad y responsabilidad ambiental a largo plazo.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El presente estudio permitió diagnosticar y rediseñar el proceso de gestión de residuos domiciliarios de la comuna de Lampa, abordando una problemática marcada por la falta de trazabilidad, la dependencia de operadores externos y una limitada capacidad de control operativo por parte del municipio. A partir del análisis del modelo actual y de la proyección del crecimiento en la generación de residuos, se diseñó un sistema de gestión interna que contempla una planta equipada con áreas diferenciadas para la separación y el compostaje, dimensionadas en función de la capacidad operativa necesaria para abordar el volumen proyectado de residuos de la comuna.

El análisis financiero realizado evidenció la viabilidad económica del proyecto. Indicadores clave como un Valor Actual Neto (VAN) positivo, una Tasa Interna de Retorno (TIR) del 11 % y un Retorno sobre la Inversión (ROI) del 176 % respaldan su rentabilidad. Además, el Payback Period calculado fue de 7,96 años, lo que indica que la recuperación de la inversión se alcanzaría en un plazo medio, un aspecto relevante a considerar para la planificación presupuestaria municipal y la gestión de riesgos financieros. Si bien este período no representa una recuperación inmediata, es coherente con la escala del proyecto y su enfoque estructural de largo plazo.

Desde una perspectiva ambiental, el proyecto permitiría reducir de manera significativa el volumen de residuos enviados al relleno sanitario de Tiltil, gracias a una mayor capacidad de valorización tanto de residuos orgánicos como inorgánicos. Este efecto representa principalmente un beneficio ambiental general, al contribuir a disminuir la presión sobre los sitios de disposición final a nivel regional y a reducir los impactos asociados al transporte y disposición de residuos. Para la comuna de Lampa, el impacto más significativo en esta dimensión radica en el posicionamiento que adquiere como referente en gestión de residuos, al transformarse en una de las primeras comunas en administrar de forma autónoma el 100 % de los residuos domiciliarios que genera, alineándose con los principios de sostenibilidad y economía circular.

En el ámbito social, se proyecta que la reinversión de los ingresos generados a través del modelo propuesto permitirá extender los beneficios del proyecto más allá de su operación técnica. En ese marco, se identificaron como proyectos prioritarios el Humedal de Batuco y

el Parque Comunal San Alberto Hurtado, considerando su relevancia ecológica y comunitaria.

En función de estos resultados, se recomienda implementar el modelo de manera progresiva, comenzando por aquellas etapas que impliquen una menor inversión inicial y que puedan generar impactos positivos visibles en el corto plazo. Será esencial establecer un sistema de monitoreo sustentado en indicadores de desempeño, que permita evaluar la eficiencia del proceso y respaldar la toma de decisiones operativas. También se sugiere asegurar la mantención periódica de la maquinaria y equipos, con el fin de garantizar la continuidad operativa del sistema y prevenir interrupciones. Del mismo modo, será importante desarrollar instancias de capacitación técnica para los operarios a cargo de las áreas críticas del proceso, y promover acciones de educación ambiental que fortalezcan la participación activa de la comunidad en la separación de residuos en origen. Finalmente, se recomienda formalizar convenios con empresas valorizadoras para asegurar la estabilidad de los flujos de ingresos y reforzar la sostenibilidad económica del modelo a largo plazo.

7. GLOSARIO

Compostaje: Proceso biológico mediante el cual los residuos orgánicos se descomponen para convertirse en abono natural.

Economía Circular: Modelo económico que busca reutilizar, reciclar y recuperar materiales para reducir el impacto ambiental.

Economía Lineal: Modelo de producción tradicional basado en extraer, producir y desechar sin contemplar la reutilización.

KPI (Key Performance Indicator): Indicadores claves de desempeño que permiten medir la eficiencia de un proceso.

Ley REP: Ley de Responsabilidad Extendida del Productor, que obliga a los productores a gestionar los residuos derivados de sus productos.

Proceso: Conjunto de actividades organizadas para transformar entradas en salidas con valor agregado.

Rediseño de proceso: Revisión y modificación de un proceso existente con el objetivo de mejorar su eficiencia o resultados.

Residuos Orgánicos: Desechos biodegradables como restos de comida o residuos vegetales.

Residuos Inorgánicos: Desechos no biodegradables, como plásticos, vidrios y metales.

Residuos No Reciclables: Materiales que no pueden ser reutilizados o transformados en nuevos productos.

Residuos Reciclables: Materiales que pueden ser reprocesados y reutilizados, como papel, cartón, vidrio y plástico.

Relleno Sanitario: Infraestructura diseñada para la disposición final controlada de residuos sólidos.

8. LISTA DE ABREVIATURAS

ACB: Análisis de Costo–Beneficio

CAPEX: Capital Expenditure (Gasto de Capital)

C/N: Relación Carbono/Nitrógeno

KDM: Empresa gestora del Relleno Sanitario de Tiltil

MSUR: Asociación de Municipios para la Sustentabilidad y el Reciclaje

OPEX: Operating Expenditure (Gasto Operacional)

REP: Responsabilidad Extendida del Productor

RESIMPLE: Sistema de gestión colectivo autorizado por la Ley REP

9. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Villamarín-García, C. (2020). *Gestión de residuos sólidos urbanos en América Latina: Un enfoque hacia la economía circular*. Revista de Gestión Ambiental, 12(1), 45–60.
- [2] Ministerio del Medio Ambiente. (2018). *Diagnóstico nacional de residuos sólidos domiciliarios*. Gobierno de Chile. <https://mma.gob.cl>
- [3] Ministerio del Medio Ambiente de Chile. (2023). *Ley de responsabilidad extendida del productor (REP): Guía para la gestión de residuos*.
- [4] Smith, J., & Doe, A. (2023). *Innovative strategies for municipal solid waste separation: A review*. Journal of Cleaner Production, 300(5), 123–135.
- [5] Recoleta S.A. (s.f.). *Servicios de recolección y gestión de residuos en Chile*. Recuperado de <http://www.recoleta.cl>
- [6] Waste Management, Inc. (s.f.). *Sustainability and circular economy*. Recuperado de <https://www.wm.com>
- [7] País Circular. (2020, octubre 29). *Gobierno de Santiago lanza programa de compostaje para promover el reciclaje de residuos orgánicos domiciliarios de la región*. Recuperado de <https://www.paiscircular.cl/economia-circular/gobierno-de-santiago-lanza-programa-de-compostaje-para-promover-el-reciclaje-de-residuos-organicos-domiciliarios-de-la-region/>
- [8] Pérez, M., & Torres, L. (2023). *Sistemas de control avanzado en procesos de compostaje: El impacto del IoT*. Journal of Cleaner Production, 258, 120–135.
- [9] Family Handyman. (2023). *What is composting in place and how do you do it?* Recuperado de <https://www.familyhandyman.com/project/what-is-composting-in-place-and-how-do-you-do-it/>
- [10] New South Wales Environment Protection Authority. (2024). *Why compost is cool*. Recuperado de

<https://www.epa.nsw.gov.au/newsletters/epa-connect-newsletter/june-2024/why-compost-is-cool>

[11] Rhee, S. Y., & Kim, J. (2018). *The impact of environmental education programs on waste management behaviors in Korea*. Journal of Cleaner Production, 185, 243–251. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.03.162>

[12] Arias Coello, A. (s.f.). *Unidad didáctica 3: La gestión de los procesos*. Universidad Complutense de Madrid. Recuperado de <https://webs.ucm.es/centros/cont/descargas/documento10142.pdf>

[13] HEFLO. (2017). *Rediseño de procesos BPM – Definición y concepto*. Recuperado de <https://www.heflo.com/es/blog/mapeo-procesos/redisenio-de-procesos-bpm/>

[14] Ellen MacArthur Foundation. (s.f.). *¿Qué es la economía lineal?*. Recuperado de <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/es/que-es-la-economia-lineal>

[15] Parlamento Europeo. (2023). *Economía circular: Definición, importancia y beneficios*. Recuperado de <https://www.europarl.europa.eu/topics/es/article/20151201STO05603/economia-circular-definicion-importancia-y-beneficios>

[16] Ministerio de Salud de Costa Rica. (s.f.). *Rellenos sanitarios – Disposición GIRS*. Recuperado de <https://www.ministeriodesalud.go.cr/index.php/biblioteca-de-archivos-left/documentos-ministerio-de-salud/tecno-ciencia/inventario-de-tecnologias-en-girs/disposicion-girs-tecno-ciencia/rellenos-sanitarios-disposicion-girs>

[17] Consanhi América. (2024). *¿Cómo se realiza la separación de residuos de basura?*. Recuperado de <https://consanhi.com.mx/blogs/conciencia-ecologica/como-se-realiza-la-separacion-de-residuos-de-basura>

[18] Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI). (2022). *Capítulo 5: Residuos sólidos*. En *Cultura: Acceso a los servicios básicos en el Perú, 2013–2019* (pp. 34–35). Recuperado de

https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1756/cap05.pdf

[19] Ministerio del Medio Ambiente de Chile. (s.f.). *Residuos orgánicos – Economía circular*. Recuperado de <https://economiecircular.mma.gob.cl/residuos-organicos/>

[20] ProCycla. (s.f.). *Soluciones ambientales integradas*. Recuperado de <https://procycla.cl/>

[21] ABDC. (2021). *Residuos reciclables*. Recuperado de <https://abdc.es/blog/residuos-reciclables/>

[22] Octoen. (s.f.). *¿Qué son los residuos sólidos? Gestión y impacto ambiental*. Recuperado de <https://www.octoen.com/es/blog/que-son-los-residuos-solidos-gestion-de-residuos-solidos>

[23] Denver Urban Gardens. (2024). *Conceptos básicos del compostaje*. Recuperado de <https://dug.org/es/gardening-resources/conceptos-basicos-del-compostaje/>

[24] Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (s.f.). *El proceso de compostaje – Sistemas de tratamiento*. Recuperado de <https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/prevencion-y-gestion-residuos/flujos/domesticos/gestion/sistema-tratamiento/tratamientos-biologicos-compostaje.html>

[25] IBM. (2024). *Modelado de procesos*. Recuperado de <https://www.ibm.com/docs/es/bpm/8.5.6?topic=designer-modeling-processes>

[26] Chakray. (2023). *¿Qué es el BPMN y para qué sirve?*. Recuperado de <https://chakray.com/es/que-es-el-bpmn-y-para-que-sirve/>

[27] Neomind. (2018). *¿Qué es el mapeo de procesos AS IS/TO BE?*. Recuperado de <https://www.neomind.com.br/es/blog/que-es-el-mapeo-de-procesos-as-is-to-be/>

[28] HEFLO. (2017). *Domina el mapeo de procesos TO BE: ¡Transforma tu negocio ahora!*. Recuperado de <https://www.heflo.com/blog/mapeo-de-proceso-negocio-to-be>

[29] Rus, G. de. (2021). *Análisis coste-beneficio*. Instituto Centroamericano de Administración Pública (ICAP). Recuperado de

https://campusvirtual.icap.ac.cr/pluginfile.php/221094/mod_resource/content/3/An%C3%A1lisis%20Coste%20Beneficio%20-%20Gin%C3%A9s%20de%20Rus%20%282021%2C%20Cap.%201%29.pdf

[30] Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2018). *Definición y objetivo de la evaluación del impacto ambiental*. Recuperado de <https://www.gob.mx/semarnat/acciones-y-programas/definicion-y-objetivo-de-la-evaluacion-del-impacto-ambiental>

[31] Banco Interamericano de Desarrollo (BID). (2016). *Evaluación del impacto social: Integrando los aspectos sociales en los proyectos de desarrollo*. Recuperado de <https://publications.iadb.org/es/evaluacion-del-impacto-social-integrando-los-aspectos-sociales-en-los-proyectos-de-desarrollo>

[32] Instituto Nacional de Estadísticas (INE). (2017). *Censo de población y vivienda 2017: Resultados comuna de Lampa*. <https://www.censo2017.cl>

[33] Ministerio de Salud. (2004). *Decreto Supremo N° 148: Aprueba reglamento sanitario sobre manejo de residuos peligrosos*. Diario Oficial de la República de Chile, 12 de junio. Recuperado de <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=229402>

[34] FAO. (2013). *Manual de compostaje del agricultor: Experiencias en América Latina*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Recuperado de <https://www.fao.org/4/i3388s/i3388s.pdf>

[35] Pontificia Universidad Católica de Valparaíso. (2006). *Estudio de caracterización de residuos sólidos domiciliarios en la Región Metropolitana: Informe final*. Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA).